8/85
35. Jahrgang
November 1985
S. 169–192
Verlagspostamt
Berlin
Heftpreis 2,20 M



VEB VERLAG
FÜR BAUWESEN
BERLIN

Wasserwirtschaft · Wassertechnik

wwt

Dokumentation

Neue Verfahren zur Steuerung gefüllter Talsperren bei Hochwasser
Heym, H.
In: Wasserwirtschaft–Wassertechnik.–
Berlin **35** (1985) 8, S. 170–172
Vorgestellt werden Verfahren zur Abgabe aus einem Speicher, wenn die Hochwasserentlastungsanlage in Tätigkeit tritt. Im ersten Verfahren wird jener Teil des nicht beherrschbaren Hochwasserstauraumes nachgewiesen, der in die Bewirtschaftung mit einbezogen werden kann. Im zweiten Verfahren wird die Abgabeerhöhung ermittelt, die erforderlich ist, wenn der Zufluß zum Speicher noch über den beim ersten Verfahren errechneten zulässigen Werten liegt.

Drehzahlregelung von Förderpumpen in der Wasserversorgung
Blechschmidt, M.
In: Wasserwirtschaft–Wassertechnik.–
Berlin **35** (1985) 8, S. 172–174
Es wird gezeigt, daß der Einsatz drehzahlgeregelter Pumpen unter Beachtung des Verhältnisses von Investitions- und Energiekosten nur bei einer bestimmten Anlagencharakteristik ökonomische Vorteile bringen kann. Bei schwierigen technischen Verhältnissen erweist sich die Drehzahlregelung in jedem Fall als die günstigere Lösung. Ist die Anlagencharakteristik durch hohe Anteile statischer Förderhöhe gekennzeichnet und liegen einfache technische Gegebenheiten vor, behalten die bisher üblichen Lösungen ihre ökonomische Berechtigung.

Drehzahlregelung in Pumpwerken am Beispiel eines Reinwasserpumpwerkes
Wittig, H.
In: Wasserwirtschaft–Wassertechnik.–
Berlin **35** (1985) 8, S. 175–177
An einem Beispiel werden der Einsatz und die Technologie der Drehzahlregelung von Kreiselpumpen erläutert. Es wird nachgewiesen, daß die Drehzahlregelung bei entsprechend sorgfältiger Erarbeitung eines Kennlinienfeldes energetische Vorteile bringt, die Belastung der Pumpen verringert und den Geräuschpegel senkt.

Grundlagen der hydraulischen Kanalisationsnetzberechnung
Widiger, U.; Kahle, F.
In: Wasserwirtschaft–Wassertechnik.–
Berlin **35** (1985) 8, S. 182–184
Vorgestellt wird ein EDV-Programm zur hydraulischen Kanalisationsnetzberechnung, mit dessen Hilfe das Abflußgeschehen wirklichkeitsnah berechnet werden kann. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, geplante Rekonstruktionsmaßnahmen an den Abwasserableitungssystemen der Städte technologisch und ökonomisch optimal zu gestalten.

Verfahren zur Oberflächenabflußmessung bei Beregnung
Pfaff, M.
In: Wasserwirtschaft–Wassertechnik.–
Berlin **35** (1985) 8, S. 187–188
Mit dem vorgestellten Verfahren werden innerhalb beregnungstechnisch und technologisch vorgegebener Grenzen die Haupteinflußfaktoren der Oberflächenabflußbildung auf landwirtschaftlichen Nutzflächen charakterisiert. Die Abflußmeßanlage besteht aus einer mobilen Beregnungstechnik mit Drehstrahlregnern, stationären Meßparzellen, den dazugehörigen Abflußmeßeinrichtungen und Niederschlagsmeßplätzen. Anhand von Beispielen werden der Algorithmus der Messung dargestellt und erste Ergebnisse zu den Prozeßkennwerten der Oberflächenabflußbildung mitgeteilt.

Redaktionsbeirat:

Содержание

Новые методы управления наполненных водохранилищ при наводнениях.

Регулипрование насосов для водоснабжения посредством изменения числа оборотов.

Регулирование работы насосных станций с помощью изменения числа оборотов насосов.

Заметки к узловому расчёту водопроводных сетей.

Основы гидравлического расчёта канализационных сетей.

Проблемы получения проб воды из грунтовых вод.

Методы измерения поверхностного стока при орошении.

Ветровые волны в непроточных водоёмах.

Заметки к комментарию и основам расчёта стандарта ГДР ТГЛ 28724 и заводского стандарта ВАПРО 3.04.

Contents

New Processes to Control Filled-Up Dams under Flood Conditions

Pump Speed Control in Water Supply

Speed Control in Pumping Stations by Examples of Clean-Water Pumping Station

Comments on Junction-Oriented Pipeline Calculation

Principles of Calculation of Hydraulic Sewer Networks

Aspects relating to Collection of Representative Water Samples from Groundwater

Process for Measurement of Surface Flow-Off from Irrigated Area

Wind Waves on Still Water
Reflections on Commentary on and Calculation Principles for GDR Standards TGL 28 724 and WARPO 3.04

Contenu

Procédés nouveaux pour la commande de barrages remplis en cas des hautes eaux

Régulation de la vitesse de pompes d'alimentation à l'alimentation en eau

Régulation de la vitesse dans des stations de pompage à l'exemple d'une station de pompage d'eau pure

Observations concernant le calcul de réseaux de conduites, orienté vers les noeuds

Bases du calcul hydraulique du réseau public de canalisation

Problémes du prélèvement d'échantillons représentatifs d'eau des eaux souterraines

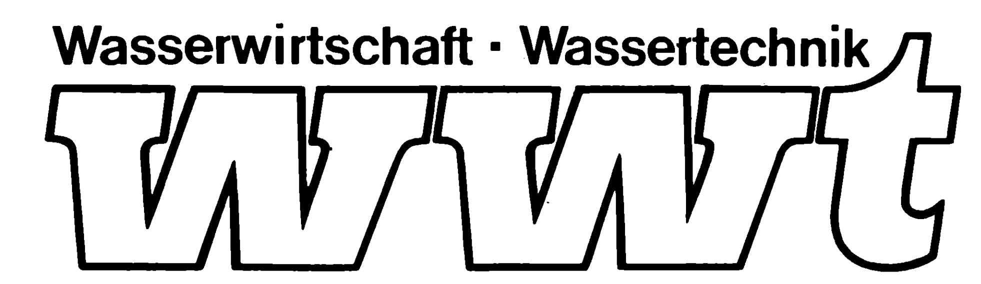
Procédés du mesurage de l'écoulement superficiel en cas de l'irrigation

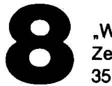
Ondes de vent sur des objects hydrauliques immobiles

Observations concernant le commentaire et les bases de calcul du standard TGL 28 724 et du standard d'usine WAPRO 3.04



Ausgezeichnet mit der Ehrenplakette der KDT in Silber





„Wasserwirtschaft – Wassertechnik“
Zeitschrift für Technik und Ökonomik der Wasserwirtschaft
35. Jahrgang (1985) November

Herausgeber:
Ministerium für Umweltschutz und Wasserwirtschaft und Kammer der Technik (FV Wasser)

Verlag:
VEB Verlag für Bauwesen
1086 Berlin, Französische Straße 13/14
Verlagsdirektor:
Dipl.-Ök. Siegfried Seeliger
Fernsprecher: 20410

Redaktion:
Agr.-Ing., Journ. Helga Hammer,
Verantwortliche Redakteurin

Dipl.-Ing. Ralf Hellmann,
Redakteur

Carolyn Sauer,
redaktionelle Mitarbeiterin

Sitz der Redaktion:
1086 Berlin, Hausvogteiplatz 12
Fernsprecher: 2 08 05 80 und 2 07 64 42

Lizenz-Nr. 1138
Presseamt beim Vorsitzenden des Ministerrates der DDR

Satz: Druckerei „Neues Deutschland“
Druck: Druckkombinat Berlin
Gestaltung: Sylvia Mitzscherling

Artikel-Nummer 29 932
Die Zeitschrift erscheint achtmal im Jahr zum Heftpreis von 2,20 M (DDR)

Printed in G. D. R.

Die Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes Buchexport zu entnehmen. Bestellungen nehmen entgegen: für Bezieher in der DDR sämtliche Postämter, der örtliche Buchhandel und der VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, für Buchhandlungen im Ausland die internationalen Buchhandlungen in den jeweiligen Ländern bzw. das Zentralantiquariat der DDR, 7010 Leipzig, Talstraße 29.

Alleinige Anzeigenverwaltung:
VEB Verlag Technik, 1020 Berlin,
Oranienburger Straße 13/14, PSF 293,
Fernruf 2 87 00
Es gilt die Anzeigenpreisliste lt. Preiskatalog Nr. 286/1.

Aus dem Inhalt

Neue Verfahren zur Steuerung gefüllter Talsperren bei Hochwasser
Hans Heym — 170

Drehzahlregelung von Förderpumpen in der Wasserversorgung
Manfred Blechschmidt — 172

Drehzahlregelung in Pumpwerken am Beispiel eines Reinwasserpumpwerkes
Hermann Wittig — 175

Bemerkungen zur knotenorientierten Rohrnetzberechnung
Dietrich Ludewig — 179

Grundlagen der hydraulischen Kanalisationsnetzberechnung
Ute Widiger; Falko Kahle — 182

Probleme und Technik der Entnahme repräsentativer Wasserproben aus dem Grundwasser
Gerd Schreiber; Günther Müller; Lienhard Herrmann — 185

Verfahren zur Oberflächenabflußmessung bei Beregnung
Manfred Pfaff — 187

Windwellen auf stehenden Gewässern
Bemerkungen zu Kommentar und Berechnungsgrundlagen des Standards TGL 28724 und des Werkstandards WAPRO 3.04
Eberhard Apel — 189

Zum Titelfoto:

Unser Foto zeigt den Peene-Süd-Kanal. Er ist 26 km lang und dient vor allem der Beregnung von 30000 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche im Bezirk Neubrandenburg. Jährlich liefert der Kanal 80 Mill. m³ für die Flächen der Pflanzenbaubetriebe. Das Pumpwerk Dersewitz am Kanalanfang pumpt 40000 m³/h Wasser der niedriger gelegenen Peene 12 m hoch.
Foto: Archiv

Neue Verfahren zur Steuerung gefüllter Talsperren bei Hochwasser

Ing. Hans HEYM, KDT
Beitrag aus der Oberflußmeisterei Suhl

Die vorliegende Arbeit wurde anläßlich des Wettbewerbes zur „Erarbeitung von neuen wissenschaftlich-technischen Lösungen zur weiteren Intensivierung in der Wasserwirtschaft“ im Mai 1984 eingereicht und mit einer Ehrenurkunde gewürdigt.
Sie wurde aktualisiert entsprechend der neuen „Anordnung zur Bewirtschaftung, Nutzung und zum Schutz von Talsperren und Speichern“ vom 10. 5. 1985, veröffentlicht im Gesetzblatt 1985, Teil I, Nr. 16 vom 28. 6. 1985. Dort wird im § 8 unter anderem gefordert: Es sind Maßnahmen in die Bewirtschaftungspläne aufzunehmen über

- Einstau des nicht beherrschbaren Hochwasserschutzraumes unter Beibehaltung der festgelegten schadlosen Wasserabgabe an den Wasserlauf oder der festgelegten Grenzwerte am Bezugspegel, solange eine Abflußdrosselung mit den vorhandenen Betriebseinrichtungen technisch möglich ist.

Aufgabenstellung

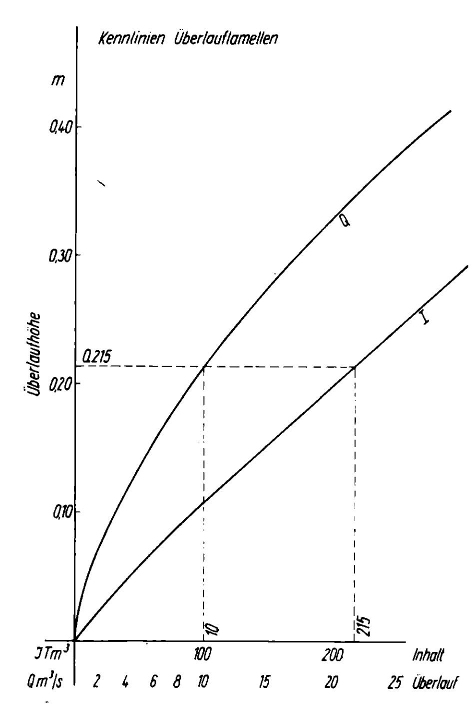
Im folgenden sollen zwei Aufgaben gelöst werden:

- Einbeziehung eines Teils der Überlauflamelle bzw. des nicht beherrschbaren Hochwasserstauraumes in die Hochwasserbewirtschaftung
- Optimale Steuerung der Wasserabgabe bei gefüllten Talsperren und Speichern, bei anhaltendem Hochwasserzufluß und anspringender Hochwasserentlastung.

Begründung der Aufgabe

Für den Normalbetrieb existieren Verfahren und Methoden, um die Stauräume effektiv zu nutzen. Beim Durchlauf von Hochwasserwellen dagegen ist eine solche optimale Steuerung weitaus schwieriger, da die Abflußmasse einer Hochwasserwelle die Steuerziele entscheidend bestimmt. Letztere ist im voraus kaum zu berechnen. In der Praxis werden daher anhand von statistischen Untersuchungen Hochwässer analysiert und die Größe des beherrschbaren Hochwasserstauraumes anhand eines Hochwassers bestimmter Eintrittswahrscheinlichkeit festgelegt. Dieser beherrschbare Hochwasserstauraum wird zwischen der oberen Betriebsstaugrenze des Nutzraumes und dem Vollstau des Speichers – in der Regel die Kante der Hochwasserentlastungsanlage – angeordnet. Über der Überlaufkante liegt der sogenannte „nicht beherrschbare“ Hochwasserstauraum bis zur Höchststaugrenze, also bis zur maximalen Überlaufhöhe eines Bemessungshochwassers. Der Begriff „nicht beherrschbar“ deutet an, daß eine Beherrschung bzw. Steuerung des Durchflusses in diesem Staubereich nicht möglich wäre. Daher wird dieser Stauraum auch mehr oder weniger nur als zusätzliche Sicherheit betrachtet. Es ist sogar die Ansicht anzutreffen, das Überlaufen einer Talsperre durch vorzeitiges Öffnen der Grundablässe in der Regel zu vermeiden. So wird wertvoller Rückhalteraum und damit eine zusätzliche Senkung des Hochwasserscheitels verschenkt.
Die vorliegende Arbeit weist nach, welcher Mindestanteil des sogenannten „nicht beherrschbaren“ Hochwasserstauraumes in einen „beherrschbaren“ umgewandelt und damit in die planmäßige Hochwasserbewirtschaftung einbezogen werden kann.
Immer wieder kommt es zu Hochwasserereignissen, bei denen die Abflußmasse so groß ist, daß der vorhandene Rückhalteraum nicht ausreicht. Meist tritt diese Situation im letzten Drittel einer Hochwasserwelle ein, wenn die Zuflußganglinie bereits eine rückläufige Tendenz aufweist. In solchen Fällen wird leider oft passiv der Ablauf des Resthochwassers über die Hochwasserentlastungsanlage hingenommen oder sogar die Abgabe über den Grundablaß erhöht, um den Überlauf zu verringern. Die sich daraus ergebenden Abgabescheitel sind im Verhältnis zum Zufluß meist noch relativ hoch und lassen nicht annähernd das Optimum an Retentionswirkung erreichen.
Es ist daher notwendig, ein Verfahren zu entwickeln, das die Mindestgröße des Abgabescheitels anhand des noch zu erwartenden Zuflusses bestimmt und damit die maximale Rentontionswirkung erwarten läßt. Damit läßt sich auch in diesen Situationen die Hochwasserentwicklung noch aktiv beeinflussen.

Bild 1



Verfahren zur Ermittlung des Anteils der Überlauflamelle eines Speichers, der in die planmäßige Hochwasserbewirtschaftung einbezogen werden kann

Das Verfahren beruht auf der Möglichkeit, auch bei einem Anspringen der Hochwasserentlastungsanlage solange eine gleichbleibende Wasserabgabe beibehalten zu können, bis die Überlaufmenge die Größe der Grundablaßabgabe zu Beginn des Überlaufs erreicht hat. Damit wird ein Teil der Überlauflamelle mit der entsprechend der festgelegten Abgabemenge erforderlichen Überströmungshöhe zum beherrschbaren Hochwasserstauraum.
Die Größe dieses Stauraumes wird durch folgende Faktoren bestimmt:

- Inhalt der Überlauflamelle (Kennlinien)
- Größe der zulässigen Grundablaßgabe bei Hochwasser
- Restflußmasse eines Hochwassers nach Erreichen des Vollstaues abzüglich der Abgabe über den Grundablaß.

Aus diesen Werten wird die zulässige Zuflußgröße errechnet als
$Q_{Z\,zul.} = Q_{Zufluß} - Q_{Grundablaßabgabe}$. Diese kann vom Speicher ohne Erhöhung der Abgabe noch aufgenommen werden. Das Verfahren wird an einem Beispiel demonstriert.
Bild 1 vermittelt die Kennlinien einer Hochwasserentlastungsanlage eines Speichers als Beziehung zwischen Überströmungshöhe und Abflußmenge sowie dem Stauraum der Überlauflamelle.
Vorgegeben wurde eine Grundablaßabgabe von 10 m³/s.
Relativ unbekannt ist die 3. Größe, nämlich die Restabflußmasse eines Hochwassers. Sie wird überschläglich ermittelt aus der Neigung der Hochwasserganglinie zum Zeitpunkt des Vollstaues, ausgedrückt im Rückgang des Zuflusses in 1 m³/s je Zeiteinheit (Sekunden). Im vorliegenden Beispiel (Bild 2) wurde eine Neigung von 1 m³/s in 3600 Sekunden angenommen.

Beispielrechnung:

Bei 10 m³/s Leistung des Grundablasses = zulässige Leistung des Überlaufs ergibt sich aus Bild 1:
Überlaufhöhe = 0,215 m
Inhalt der Überlauflamelle = 218 000 m³.
Die Restabflußmasse des Hochwassers darf demnach nur noch 218 000 m³ betragen.

Daraus ermittelt sich:

$$Q_{Z\,zul.} = \sqrt{\frac{21}{3600}} = \sqrt{\frac{436000}{3600}} = \sqrt{121} = 11\ m^3/s$$

Der Zufluß darf bei diesem Beispiel zum Zeitpunkt des Vollstaues noch 10 + 11 = 21 m³/s betragen. Im praktischen Betrieb wird mit Anspringen des Überlaufs in gleichem Maße die Grundablaßabgabe gedrosselt. Der Gesamtabfluß bleibt damit bei 10 m³/s. Am Ende der Hochwasserwelle gehen die gesamten 10 m³/s Zufluß über die Hochwasserentlastungsanlage. Der Grundablaß ist dann geschlossen.

Wie die Größe $Q_{Z\,zul.}$ von der Neigung der Hochwasserganglinie und damit von der Restabflußmasse abhängt, sei an zwei weiteren Beispielen dargestellt. Unter den vorgenannten Bedingungen ergibt sich für eine steile Rückgangskurve mit einer Neigung von 1 m³/s in 1800 sec.

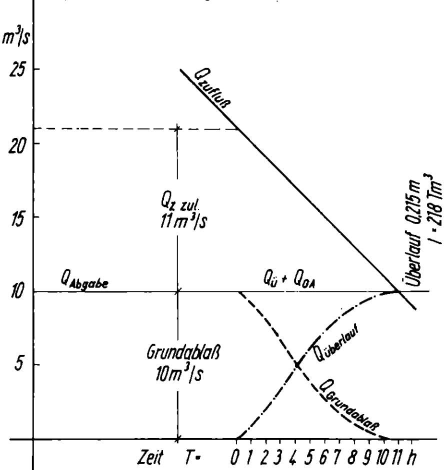
$$Q_{Z\,zul.} = \sqrt{\frac{436000}{1800}} = \sqrt{242} = 15{,}5\ m^3/s$$

und für eine flache Rückgangskurve mit einer Neigung von 1 m³/s in 5400 sec.:

$$Q_{Z\,zul.} = \sqrt{\frac{436000}{5400}} = \sqrt{81} = 9{,}0\ m^3/s$$

Im aktuellen Betrieb bei Hochwasser können diese Werte in wenigen Minuten ermittelt werden, wobei man auch typisches Rückgangsverhalten von Hochwasserganglinien in die Berechnung mit einbeziehen kann. Aus dem Ergebnis kann damit in kürzester Zeit der notwendige Steuerbefehl an die Talsperre abgegeben werden.

Bild 2



Verfahren zur Ermittlung einer optimalen Wasserabgabe aus einem gefüllten Speicher, wenn der Zufluß noch größer als die Abgabe ist

Ist der Zufluß kleiner als das nach dem 1. Verfahren errechnete $Q_{Z\,zul.}$, so braucht durch Gegensteuerung der Grundablaßabgabe zur Überlaufmenge die Gesamtwasserabgabe aus dem Speicher nicht erhöht zu werden. Ist der Zufluß jedoch größer als das errechnete $Q_{Z\,zul.}$, wird eine Abgabeerhöhung eintreten. Sie wird als relativ steile Abgabespitze in Erscheinung treten. Durch Anwendung des nachfolgenden Verfahrens soll diese Abgabeerhöhung so niedrig wie möglich gehalten werden. Ausgangswerte für die Berechnung sind folgende Faktoren, wie beim 1. Verfahren:

- Inhalt der Überlauflamelle (Kennlinien)
- Größe der Grundablaßabgabe
- Restabflußmasse eines Hochwassers nach Erreichen des Vollstaus abzüglich der Grundablaßabgabe.

Aus diesen Werten wird die Größe der erforderlichen Gesamtabgabe aus dem Speicher berechnet. Diese wird dann im praktischen Betrieb wieder durch Gegensteuerung des Grundablasses zum Überlauf gleichmäßig eingehalten.

Es wird vorgeschlagen, sich bei der Ermittlung der Abgabegröße eines Diagramms zu bedienen. Dieses muß für jeden Speicher einmalig vorweg aufgestellt werden. Im aktuellen Hochwasserfall kann dann die erforderliche Abgabe sofort abgelesen werden.

Aufstellung des Diagramms (Bild 3):

Ordinate = Abfluß in m³/s
Abszisse – Inhalt in Tm³
Eingetragene Kurven:
Kurve 1 – Inhalt der Überströmungslamelle in Beziehung zur Überlaufmenge. Kurve entspricht Kennlinien Bild 1.
Kurven 2, 3, 4 – Restabflußmasse eines Hochwassers abzüglich der Grundablaßabgabe. Im Beispiel wurden die Kurven 2 bis 4 für Hochwässer mit den bereits beim 1. Verfahren genannten Rückgangsneigungen aufgestellt. In der Praxis sollten weitere Kurven auch für andere Ganglinienformen eingetragen werden.
1 + 2, 1 + 3, 1 + 4 – Diese Kurven stellen jeweils die Summe der oben gezeigten Kurven dar. Inhalt der Überströmungslamelle + Restabflußmasse des Hochwassers.

Die Ermittlung der optimalen Abgabegröße erfolgt wieder anhand eines Beispiels. Der Restabfluß zum Speicher soll zu Beginn des Vollstaus 30 m³/s betragen. Im Diagramm legt

Bild 3

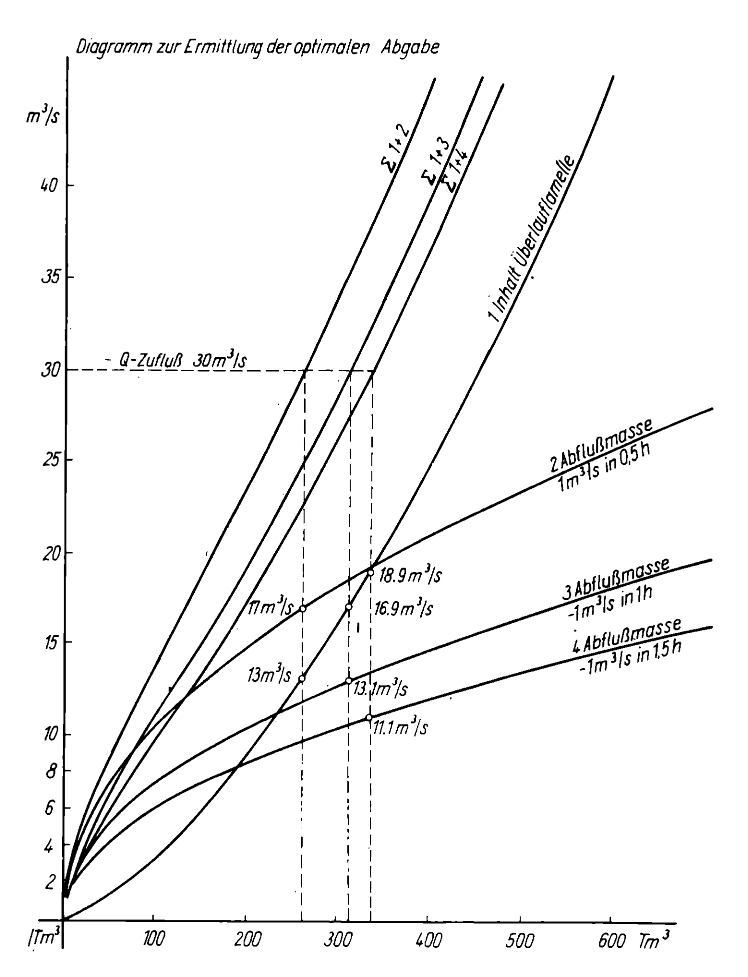
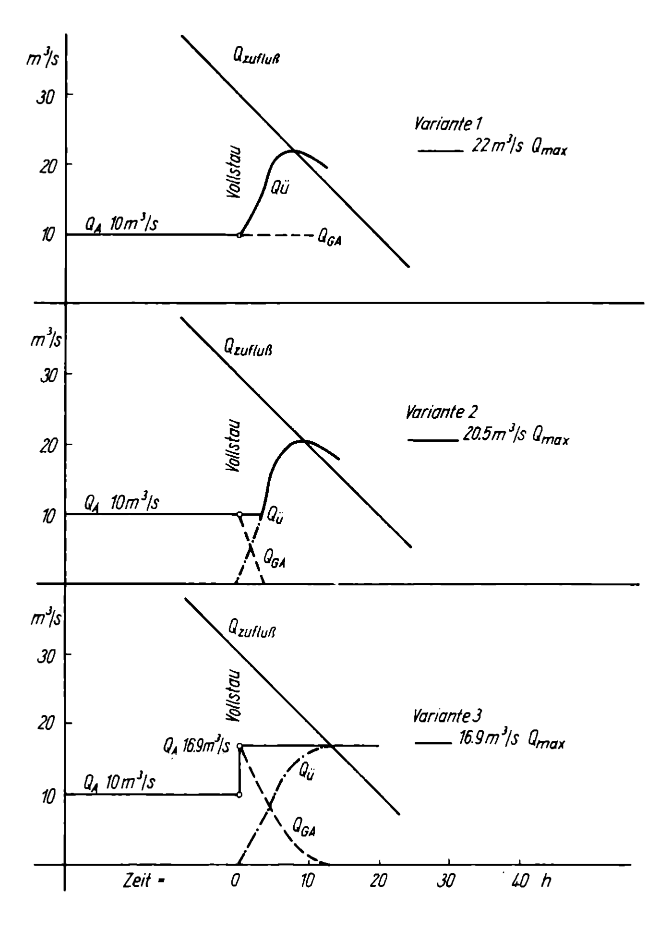


Bild 4



man eine Abszisse durch den Ordinatenpunkt 30 m³/s. Diese schneidet die Summenlinien 1 + 2, 1 + 3, 1 + 4. Die durch diese 3 Punkte laufenden zugehörigen Ordinaten schneiden die Inhaltskurve der Überlauflamelle 1 und die 3 Kurven der Hochwasserabflußmasse 2 bis 4. Auf dem Schnittpunkt mit der Kurve 1 wird die optimale Abgabemenge aus dem Speicher abgelesen. Sie beträgt bei den vorgegebenen 3 Beispielen 13 m³/s, 16,9 m³/s und 18,9 m³/s. Die Schnittpunkte mit den Kurven 2 bis 4 zeigen die zulässige Überschreitung der nunmehr neu ermittelten Abgabe an. Im vorliegenden Beispiel immer die Ergänzung zum gewählten Zufluß von 30 m³/s.
Im praktischen Betrieb ermittelt man die zu erwartende Rückgangsneigung der Hochwasserganglinie und sucht im Diagramm die entsprechende Kurve dazu auf. Dann trägt man den aktuellen Zufluß in das Diagramm ein und kann an den Schnittpunkten wie im Beispiel die Abgabe und $Q_{Z\,zul.}$ ablesen. Dann wird sofort der Grundablaß auf die erforderliche Abgabemenge einreguliert. Zur gleichen Zeit setzt der Überlauf über die Entlastungsanlage ein. Der Grundablaß wird zu der ständig wachsenden Überlaufmenge gegengesteuert, also gedrosselt. Damit bleibt die Gesamtabgabe gleich. Am Ende der Hochwasserwelle ist der Grundablaß geschlossen, und die gesamte Abgabe, die dann gleich dem Zufluß ist, geht über den Überlauf des Speichers.
Im Bild 4 wurde die Wirkung des Verfahrens für ein Hochwasser im Vergleich zu den herkömmlichen Verfahren nochmals dargestellt.
Die obere Variante 1 zeigt den Verlauf der Abgabewelle aus dem Speicher bei passivem Verhalten, d. h. gleichbleibende Grundablaßabgabe und Anspringen des Überlaufs. Dort treten die größten Abgabescheitel und damit die geringsten Hochwasserscheitelsenkungen auf.
Die mittlere Variante 2 stellt den Verlauf der Abgabewelle dar, wenn keine Erhöhung der Grundablaßabgabe erfolgt, aber sofort entsprechend der Überlaufmenge gegengesteuert wird. Diese Gegensteuerung wirkt nur, bis die Überlaufmenge die Größe der Grundablaßabgabe erreicht hat. Danach ist keine Gegensteuerung mehr möglich, und es bildet sich eine Abgabewelle, deren Scheitel etwas geringer als bei der Variante 1 ist.
In der unteren Variante 3 ist der Verlauf der Abgabe nach dem neuen Verfahren dargestellt. Die Grundablaßabgabe wird auf die ermittelten Werte angehoben, und sofort beginnt die Gegensteuerung zum einsetzenden Überlauf. Es kann eine gleichmäßige Gesamtabgabe eingehalten werden. Die Abgabe aus dem Speicher ist bei diesem Verfahren am niedrigsten und die erreichte Hochwasserscheitelsenkung am größten. Sie beträgt gegenüber der Variante 1 nochmals 20–25 % bei dem vorgegebenen, nicht einmal besonders günstigen Bespiel.

Zusammenfassung

Mit dem ersten Verfahren kann ein Teil des bisher als nicht beherrschbar geltenden Hochwasserstauraums in die planmäßige Rückhaltung und Hochwasserbewirtschaftung mit einbezogen werden. Das zweite Verfahren ermöglicht eine optimale Steuerung gefüllter Talsperren und Speicher bei Hochwasser, eine zusätzliche Hochwasserscheitelsenkung und insgesamt eine bessere Hochwasserschutzwirkung der Talsperre.

Drehzahlregelung von Förderpumpen in der Wasserversorgung

Dipl.-Ing. Manfred BLECHSCHMIDT, KDT
Beitrag aus dem VEB Kombinat Wassertechnik und Projektierung Wasserwirtschaft

Die Bedeutung der Wasserförderung aus energetischer Sicht

Die Wasserwirtschaft ist mit rund 1 % am Gesamtenergieverbrauch der DDR beteiligt. 90 % des Energieverbrauchs entfallen dabei auf die Wasserförderung, wobei die Energiekosten etwa 15 % der Selbstkosten der VEB WAB betragen. Von den Fachbereichen der Wasserwirtschaft hat die Wasserversorgung mit 80 % den stärksten Energieverbrauch. Auf den Bereich Abwasser entfallen knapp 20 %. In der Wasserwirtschaft sind 25000 Motoren im Einsatz, davon 97 % im Leistungsbereich bis 100 kVA. Ihre optimale Betriebsweise bestimmt im wesentlichen den Energieeinsatz in der Wasserwirtschaft.
Besonders wichtig ist die Energieeinsparung in den Spitzenverbrauchszeiten von Elektroenergie. In der Praxis ist es so, daß die Spitzenwerte des Wasserbedarfs zeitlich mit dem höchsten Energieverbrauch zusammenfallen.
Eine Lösung dieses Problems ist insofern möglich, da Wasser im Gegensatz zur Elektroenergie speicherbar und außerhalb der Energiespitzenzeiten in Hochbehältern bereitzustellen ist. Während der Energiespitzenzeit kann das Wasser dem Verbraucher ohne Energieeinsatz zugeführt werden. Diese Möglichkeit ist dann konsequent zu nutzen, wenn die Aufwendungen für das Pumpen außerhalb der Energiespitzenzeiten geringer bleiben als die Aufwendungen für das Pumpen.
Alle Formen der Direktförderung ins Versorgungsnetz sind wegen des o. g. Zusammenfallens der Spitzenwerte von Elektroenergie und Wasserbedarf genau zu planen, um wirtschaftliche Wasserförderanlagen zu erreichen.

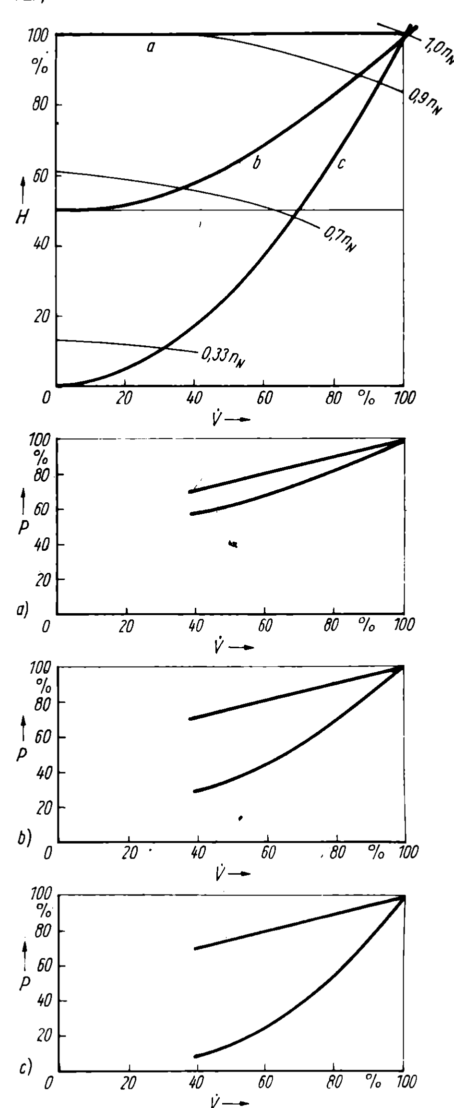
Stand der Wasserförderung mit drehzahlkonstanten Pumpen

Der ständigen Schwankungen unterliegende Wasserbedarf erforderte effektive Methoden in der Veränderung des Betriebszustandes von Kreiselpumpen (Regelung), die ganz bestimmte Einsatzgebiete haben, innerhalb derer sie auch heute noch wirtschaftlich arbeiten.
Die Anpassung des Pumpenförderstroms an den schwankenden Bedarf kann durch intermittierenden Betrieb (Förderung in Hochbehälter, in Druckkessel) oder als kontinuierliche Regelung erfolgen. Für die kontinuierliche Pumpenregelung haben sich zwei Möglichkeiten herausgebildet: die verlustbehaftete und die verlustarme Regelung. Zur ersten Gruppe zählen die Möglichkeiten zur Änderung der Anlagenkennlinie, das sind die Drosselung des druckseitigen Pumpenschiebers und die Betriebsweise mit Bypaß. Eine verlustarme Regelung wird durch Änderung der Kennlinie der Kreiselpumpe erreicht. Dazu bestehen die Möglichkeiten im Betreiben mit veränderter Drehzahl; auch das Parallelschalten von Pumpen und das Abdrehen der Laufräder kann nach /1/ dazu gerechnet werden.

Intermittierender Betrieb

Dieser wird bei konstanten hydraulischen Verhältnissen angewendet. Das ist bei der Förderung in Hochbehälter oder bei der Förderung in Druckkessel gegeben. Das Betreiben von

Bild 1 Vergleich zwischen Drosselung und Drezahlregelung einer Kreiselpumpe (in Anlehnung an /2/).



Pumpenstaffeln, wo jeder Pumpe oder Staffel ein begrenzter Betriebsbereich zugeordnet ist und ihre Zuschaltung bedarfsweise erfolgt, ist als intermittierender Betrieb anzusehen.
Durch das wiederholte Ein- und Ausschalten der Pumpenaggregate entstehen energieseitig bei großen Nutzleistungen ungünstige Auswirkungen auf das elektrische Netz sowie zusätzliche Beanspruchungen des Antriebsmotors. Bei größeren Leistungen werden deshalb schaltungstechnische Maßnahmen oder erhöhte Aufwendungen für die Energiezuleitung erforderlich.

Drosselung

Liegt eine Anlagenkennlinie vor, die einen hohen statischen Anteil der Förderhöhe (nach /2/ mehr als 50%) besitzt, und werden Pumpen mit niedriger spezifischer Drehzahl, d.h. mit flacher Kennlinie (Radialpumpen, parallelgeschaltete Pumpen) eingesetzt, kann die Drosselung für geringe Leistungen bzw. bei kurzen Betriebszeiten der Pumpen zulässig sein. Der Dauerbetriebsbereich der Pumpen ist dabei strikt einzuhalten. Mit dieser Art der Regelung kann im Teillastbereich auch eine höhere spezifische Saugarbeit erreicht werden.

Bypaß

International findet auch die Bypaßregelung Erwähnung. /3/ Sie kann eingesetzt werden, wenn Pumpen hoher spezifischer Drehzahl, also Diagonal- oder Axialpumpen, zu regeln sind. Gegenüber der Drosselung wird in /3/ eine Energieeinsparung von 9% ausgewiesen (Zur Berechnung der Förderstromänderung mit Bypaß siehe /1/).

Abdrehen des Laufrades

Das Abdrehen des Laufrades stellt eine bleibende Veränderung der Förderleistung dar, um serienmäßig produzierte Pumpen an die im Einzelfall erforderlichen Leistungsdaten anzupassen. Gegenüber der Drosselung besitzt das Abdrehen wirtschaftliche Vorteile. Im Zuge des energiewirtschaftlichen Denkens ist auch die Pumpenindustrie wieder bereit, das Abdrehen der Pumpenlaufräder vorzunehmen, wobei sich die notwendigen Aufwendungen natürlich im Lieferpreis niederschlagen.

Parallelschaltung von Pumpen

Durch die Parallelschaltung gleicher oder unterschiedlicher Pumpen wird eine stufenweise Anpassung erreicht. Die sich bei Parallelschaltung immer mehr verflachende Kennlinie der Pumpen ist für die Direktförderung in das Versorgungsnetz besonders günstig. Mit Hilfe von EDV-Programmen lassen sich die Fahrweise und die Pumpenstaffelung optimal bestimmen. Der Staffelbetrieb mit vier Pumpen ermöglicht Energieeinsparungen bis zu 25%. Das Problem der Reservehaltung ist mit den zentralen Reservelagern beherrschbar.
Der Vorteil der optimalen Pumpenstaffelung ist vor allem darin zu sehen, daß die Pumpenstaffeln unter Beachtung der Häufigkeit des Wasserbedarfs so festgelegt werden können, daß für den häufigsten Förderstrom Pumpen im Bereich ihres besten Wirkungsgrades gewählt werden. Damit kommen die mit dieser Methode erreichbaren energetischen Effekte in den Bereich der mit drehzahlgeregelten Pumpen möglichen Energieeinsparungen.

Die vorstehenden Darlegungen sollen zeigen, daß die bisher angewandten Möglichkeiten zur Anpassung des Pumpenförderstroms an den veränderlichen Bedarf schon eine energiesparende Fahrweise ermöglichen. Beachtenswert ist hierbei, daß die Aufwendungen für die Realisierung dieser Möglichkeiten gegenüber der Drehzahlregelung gering sind.

Grundlagen der Drehzahlregelung von Kreiselpumpen

Der Betriebsbereich einer Kreiselpumpe wird von den Parametern Förderstrom, spezifische Nutzarbeit und Drehzahl bestimmt. Unter Voraussetzung eines kavitationsfreien Betriebes ergeben sich für verschiedene Drehzahlen ähnliche Kennlinien. Verbindet man auf diesen Kennlinien die Punkte gleichen Wirkungsgrades erhält man das sogenannte Muscheldiagramm. /1/
Die Wirkungsgradmaxima liegen auf einer Parabel (Parabel gleichen Stoßzustandes). Eine Anlagenkennlinie, die dieser Parabel entspricht, ermöglicht den Betrieb der Pumpe beim jeweils maximalen Wirkungsgrad, der mit sich verändernder Drehzahl nur wenig geringer wird. Der energetische Vorteil der Drehzahlregelung liegt darin, daß die Wirkungsgradverluste, die aus der veränderten Drehzahl resultieren, geringer sind als der effektive Wirkungsgrad bei Pumpendrosselung.
Ein weiterer Vorteil der Drehzahlregelung ergibt sich aus der sehr starken Veränderung der spezifischen Halteenergie, so daß bei niedrigen Drehzahlen größere Saughöhen realisiert werden können.
Auch für die Drehzahlregelung besteht eine Abhängigkeit von der Form der Anlagenkennlinie. Hier wirkt sich ein nennenswerter statischer Anteil der Förderhöhe (flacher Verlauf des dynamischen Anteils der Förderhöhe) ungünstig auf die realisierbaren Wirkungsgrade aus.
Für Pumpenantriebe wird nach /4/ ein Drehzahlstellbereich von $1{,}2 \leq n/n_0 \leq 0{,}4$ benötigt. Dieser Bereich schließt den aus den Bedarfsschwankungen der Wasserversorgung resultierenden Drehzahlbereich mit ein. Der für die Wasserversorgung zutreffende Bereich kann mit $1{,}0 \leq n/n_0 \leq 0{,}6$ angegeben werden.
Während bei den verlustbehafteten Regelungsarten drehzahlkonstanter Pumpen die Veränderung der Betriebsparameter entlang der Kennlinie der Pumpe erfolgt, kann bei drehzahlgeregelten Pumpen die Änderung der Betriebsparameter auf der Anlagenkennlinie vorgenommen werden. Damit wird der Druck nicht höher als erforderlich.
Beim Entwurf von Pumpenanlagen mit drehzahlkonstanten Pumpen muß der Arbeitspunkt beachtet werden, bei drehzahlgeregelten Pumpen sind dagegen Kennlinienfelder zu untersuchen. Wo bei drehzahlkonstanten Pumpen flache Kennlinien der Pumpe zweckmäßig waren, sind bei drehzahlgeregelten steile erforderlich, weil diese einen flacheren Verlauf der Parabel des besten Wirkungsgrades ergeben. Wichtiger als die Kennlinie der Pumpe wird also die Parabel der besten Wirkungsgrade. /5/
Bei drehzahlveränderlichen Antrieben und Regeleinrichtungen gibt es viele Möglichkeiten:
- Gleichstrommotor mit Gleichstromrichter
- Drehstrom-Asynchronmotor als Kurzschlußläufer mit statischem Frequenzumrichter

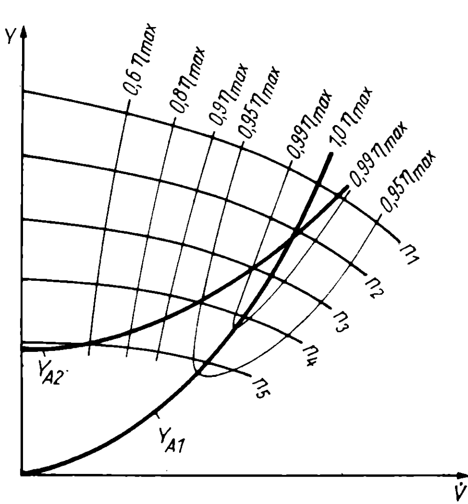


Bild 2 Wirkungsgrade einer drehzahlgeregelten Pumpe bei unterschiedlichen Anlagenkennlinien (nach /1/, S. 106)

- Drehstrom-Asynchronmotor mit untersynchroner Stromrichterkaskade
- Strömungskupplung.

Wegen der Vorteile – günstiger Wirkungsgrad, Robustheit, Zuverlässigkeit, lange Nutzungsdauer, geringer Preis und wenig Wartung – wird für den Einsatz in Wasserversorgungsanlagen der Drehstrom-Asynchron-Kurzschlußläufermotor bevorzugt. Mit dem statischen Frequenzumrichter steht eine hochwertige Regeleinrichtung zur Verfügung.
Umrichtergespeiste Motoren besitzen einen um 1 bis 3% geringeren Wirkungsgrad als netzgespeiste. Weiter muß beachtet werden, daß ihre maximale Dauerbelastung wegen des nicht genau sinusförmigen Spannungsverlaufs nach dem Umrichter verringert ist. Weil bei verminderter Drehzahl eine geringere Eigenkühlung des Motors erfolgt, wird die niedrigste Drehzahl auf 50% begrenzt. Energetische Vorteile umrichtergespeister Motoren treten nur beim Betrieb außerhalb des Nennpunktes auf. Die Umrichter haben über den Arbeitsbereich nahezu konstante Verluste, die bei Vollast und Nenndrehzahl je nach Baugröße 4 bis 8% betragen.
Die Anwendung von Strömungskupplungen kann wegen ihrer konstanten Verluste von 16% der übertragenen Leistung und ihrer geringen Kosten wirtschaftlich sein.

Einsatzbereiche drehzahlgeregelter Pumpenaggregate

Bei der Entscheidung über den Einsatz drehzahlgeregelter Pumpenaggregate ist immer die Anlagencharakteristik in Verbindung mit dem Kennlinienfeld der drehzahlgeregelten Pumpe zu sehen, um die mit der Drehzahlregelung erreichbaren energetischen Effekte voll auszuschöpfen. In Anbetracht der sehr hohen Kosten für die statischen Frequenzumrichter muß in erster Linie die technische Notwendigkeit für den Einsatz der Drehzahlregelung bestehen, ehe ein positiver ökonomischer Effekt erwartet werden kann.
Der bisher übliche Vergleich der Drehzahlregelung mit der Pumpendrosselung berücksichtigt Anlagen, die nicht dem Stand der Technik entsprechen. Für die Projektierung von Neuanlagen kann ein solcher Vergleich nicht herangezogen werden. Es ist zu fordern, daß die ausgereiften und bewährten Methoden der Wasserförderung in den Vergleich einbezogen werden. Die Rechenprogramme

des VEB Projektierung Wasserwirtschaft und eine in Vorbereitung befindliche Richtlinie erlauben für jeden Förderfall, den exakten Variantenvergleich durchzuführen und so die Entscheidung über die Fördervariante mit drehzahlgeregelten oder drehzahlkonstanten Pumpen zu objektivieren.

In /2/ werden zwei generelle Einsatzgebiete von Wasserversorgungspumpen unterschieden:

„Pumpen nahe dem Verbraucher, welche aus Reservoirs direkt in das Stadtnetz fördern ...“ und

„Pumpen für Fernwasserversorgungen – Förderung aus Stauseen, Flüssen oder Reservoirs in Aufbereitungsanlagen oder Reservoirs nahe den Verbrauchern“.

Der Einsatz drehzahlgeregelter Pumpen für den zweiten Einsatzfall ist in der Regel als günstig einzuschätzen. Der erstgenannte Einsatzfall charakterisiert Verhältnisse, wo der weniger anlagenkostenintensive Einsatz drehzahlkonstanter Pumpen, dem Stand der Technik entsprechend ausgelegt, in Erwägung gezogen werden kann.

Die deutschsprachige Literatur weist für die Drehzahlregelung folgende Vorteile aus:

– Reduzierung überhöhter Netzdrücke in verbrauchsarmen Zeiten (nachts) durch Fahren entlang der Anlagenkennlinie mit dem Ziel der Senkung des Energieeinsatzes, Verringerung der Wasserverluste und Senkung der Rohrbrüche
– Reduzierung von Druckstößen durch die Möglichkeit stufenloser Förderstromänderungen und damit Vermeidung von Überlastungen des Wasserleitungsnetzes sowie der Verringerung von Rohrbrüchen
– Verringerung der Pumpenanzahl und damit Reduzierung des umbauten Raumes für die Pumpenanlagen
– Verlängerung der Nutzungsdauer der Pumpen infolge schonender Fahrweise
– Reduzierung von Rohrleitungskosten, wenn die steilere Anlagenkennlinie der Parabel des besten Wirkungsgrades nahe kommt.

Energieeinsparungen von 20 bis zu 40% werden für die Drehzahlregelung angegeben. Die Untersuchung mehrerer Einsatzfälle drehzahlgeregelter Pumpen in einem VEB WAB ergab, daß unter den Bedingungen der DDR (Verhältnis von Bau- zu Energiekosten) die Drehzahlregelung allein aus Energiekosteneinsparungen nicht begründet werden kann.

Liegen technische Gegebenheiten vor, die mit drehzahlkonstanten Pumpen nicht oder nur ungenügend realisiert werden können, ist der Einsatz drehzahlgeregelter Pumpen angezeigt, besonders dann, wenn sich gleichzeitig Einsparungen am Pumpwerksgebäude, den technologischen Ausrüstungen oder den E/BMSR-Maßnahmen ergeben.

Dies ist dann gegeben, wenn die nachfolgenden Aufgaben anstehen:

– Ausrüstung von Spitzenpumpwerken mit langen Zuleitungen und demzufolge steiler Anlagenkennlinie
– Bewältigung starker Schwankungen der Förderhöhe, besonders saugseitig
– Anpassung an einen stark steigenden Bedarf innerhalb der Nutzungszeit der Pumpen
– Parallelschaltung drehzahlkonstanter Pumpen, wenn die vollständige Anpassung an den Förderbereich mit einer zusätzlichen drehzahlgeregelten Pumpe erreicht oder der Förderbereich bei Einsatz der Drehzahlregelung mit einer geringeren Pumpenanzahl gedeckt werden kann
– Druckerhöhung, wenn infolge Drehzahlregelung der Druckkessel entfallen kann
– Förderung in alte Wasserleitungsnetze, die im allgemeinen eine steile Kennlinie besitzen, nicht überlastbar sind, in denen Druckstöße vermindert werden müssen und die im Teillastbetrieb mit verringerter Förderhöhe betrieben werden sollen
– Betreiben von Systemen mit hydraulisch nicht ausreichendem Wasserturm
– Ablösung von Systemen mit Pumpendrosselung, bei denen die Betriebsweise mit der wenig Investitionskosten erfordernden Druckkesselanlage nicht realisiert werden kann.

Das Fehlen der Möglichkeit, mit dem gleichen Pumpenaggregat Tag- und Nachtstrom einzusetzen, sowie die hohen Investitionskosten für den Frequenzumrichter erlauben es unter den Bedingungen der DDR in der Regel nicht, die Drehzahlregelung nur aus dem Grunde der Energieeinsparung vorzusehen.

Die ökonomische Bewertung der Investitionsvarianten der Wasserförderung sind nach der Methode der komplexen Aufwandskennziffer /6/ vorzunehmen. Darüber hinaus wird für die Wasserwirtschaft die Richtlinie zur Vorbereitung drehzahlgeregelter Drehstromantriebe für Pumpen durch Leistungselektronik bis 100 kVA Antriebsleistung vom MfUW vorbereitet.

Abschließend noch einige Bemerkungen zu erforderlichen Maßnahmen, die den ökonomisch begründeten Einsatz drehzahlgeregelter Pumpen sichern:

1. Nachweis der ökonomischen Effekte der Drehzahlregelung und der den technischen Stand repräsentierenden Fördermöglichkeiten (Druckkesselanlagen, optimierte Pumpenstaffelung) /7/
2. Entwicklung von Meßwertgebern, die den erhöhten Ansprüchen an den Volumenstromschwankungsbereich bei Realisierung verbrauchsabhängiger Schaltungen genügen
3. Festlegen eines erweiterten Dauerbetriebsbereiches für drehzahlgeregelte Pumpen
4. Verringerung der Ausfallrate und Kosten für die statischen Frequenzumrichter sowie Erhöhung der Störklasse der Umrichter
5. Bessere Bereitstellung der Ausgangsdaten (Volumenstrom und Druck) durch die Betreiber der Wasserförderanlagen (das betrifft besonders die Tagesganglinie und die Häufigkeitsverteilung des Wasserbedarfs)
6. Durchführung von Lehrgängen, um qualifizierten Ingenieuren das für die Vorbereitung drehzahlgeregelter Pumpenanlagen notwendige Spezialwissen zu vermitteln.

Literatur

/1/ Autorenkollektiv: Technisches Handbuch Pumpen. 6. Aufl. Berlin: Verlag Technik 1984.

/2/ *Baumgärtel, Chr.*: Betriebliche und wirtschaftliche Gesichtspunkte für die Drehzahlregelung von Pumpen in der Wasserversorgung. In: Neue DELIWA-Zeitschrift, 10/1979, S. 422–424.

/3/ *Graeser, J. E.; Rodriguez, R.*: Eine wirtschaftliche Lösung zur Regelung vom Pumpen. In: Schweizer Ingenieur und Architekt, 8/1983.

/4/ *Surek, D.; Spengler, H.*: Energetisch günstige Einsatzbereiche drehzahlvariabler Pumpenaggregate. In: Maschinenbautechnik **31** (1982) 3.

/5/ *Ryser, F.*: Die Vorteile einer stufenlosen Drehzahlregulierung von Pumpen in der Siedlungswasserwirtschaft. In: Gas – Wasser – Abwasser 53 (1973) 1, S. 18–26.

/6/ KDT-Empfehlung zur einheitl. Anwendung der komplexen Aufwandskennziffer bei der Ermittlung der Effektivität von Maßnahmen des WTF.

/7/ *Frischherz, H.*: Untersuchungen an einem drehzahlregelbaren Pumpwerk. In: Österreichische Wasserwirtschaft **22** (1970) 9/10, S. 265–271.



Bücher

Ökonomie und Ökologie der Naturnutzung

VEB Gustav Fischer Verl. Jena 1984

Sieben Vertreter der Land-, Forst- und Wasserwirtschaft, die als Landwirt, Gärtner, Forstwirt, Biologe oder Ökonom tätig sind, untersuchen an ausgewählten und bereits in ihren Zusammenhängen gesicherten Beispielen die Beziehungen zwischen Ökologie und Ökonomie bei der Nutzung natürlicher Ökosysteme. Hierbei kommt es den Autoren darauf an, wirkliche Wechselverhältnisse zu erfassen, bezogen jeweils auf die Interessen und Möglichkeiten der sozialistischen Gesellschaft. Als vordringlich wird die Überführung ökologischer Grunderkenntnisse in die volkswirtschaftliche Praxis gesehen. Thema des zweiten Teils ist die Bewirtschaftung verschiedener Ökosysteme aus wasserwirtschaftlicher Sicht. Es wird deutlich, daß ökologisch orientierte Gutachten genereller Bestandteil von Planungsunterlagen sein müssen, um von vornherein positive und negative ökologische Wirkungen in gesamtwirtschaftliche Betrachtungen einbeziehen zu können.

Dr. Breitig

Maschinelle und elektrische Anlagen in Wasserwerken

GVGM-Schriftenreihe, Band 203

Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs, Eschborn 1984, 668 S.

Die Publikation will über den aktuellen Stand der technischen und wissenschaftlichen Entwicklung informieren. Beispielen aus der Geschichte der künstlichen Wasserhebung folgen Informationen zum Bau, zum Betrieb und zur Planung von Förderanlagen. Spezielle Hinweise erläutern Maßnahmen zur Begrenzung dynamischer Druckveränderungen, Kreiselpumpen und elektrische Antriebe in Wasserwerken, drehzahlverstellbare Antriebe und Verbrennungskraftmaschinen – Gasmotoren – Dampfturbinen. Weitere Abschnitte behandeln u. a. Stahlbehälter in Aufbereitungsanlagen, Heizung und Entfeuchtung in Wasserwerken, Dosieranlagen zur Trinkwasseraufbereitung sowie Aufbereitung und Beseitigung von Abfallprodukten. Der Band schließt mit einer zusammenfassenden Betrachtung des gesamten Stoffgebiets anhand eines Beispielwasserwerks. Hervorzuheben ist, daß aktuelle Informationen in Verbindung mit einer breiten Darstellung bereits bekannter Grundkenntnisse, durch zahlreiche Abbildungen und Tabellen unterstützt, verständlich vermittelt werden.

H. L.

Drehzahlregelung in Pumpwerken am Beispiel eines Reinwasserpumpwerkes

Ing. Hermann WITTIG, KDT
Beitrag aus dem VEB Wasserversorgung und Abwasserbehandlung Schwerin

Am folgenden Beispiel soll nachgewiesen werden, daß der Einsatz von drehzahlgeregelten Pumpen energetisch und technologisch sinnvoll ist, wenn er entsprechend vorbereitet wird (projektmäßige Bearbeitung). Hierbei sind besonders das Kennlinienfeld des betreffenden Pumpwerkes unter dem Gesichtspunkt des optimalen Arbeits- und Regelbereiches der Pumpen sowie die Bemessung und Auswahl des regelbaren Antriebes hervorzuheben.

Allgemeines zur Drehzahlregelung

Über die Vorteile der Drehzahlregelung von Kreiselpumpen hinsichtlich des Energieaufwandes gegenüber Regelungen entlang der $\dot{V}/H$-Linie (Drosselkennlinie) schreiben fast alle einschlägigen Pumpenfachbücher seit einigen Jahrzehnten, auch die im Literaturanhang genannten Autoren. Erst durch die moderne Leistungselektronik sind diese Regelungen ohne größeren Aufwand realisierbar geworden. Solche Regelungen sind dann sinnvoll, wenn mittels Pumpen der Druck oder die Menge in einem System gegen einen wechselnden Verbrauch oder Druck aufrecht erhalten werden soll. /1, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 14 bis 19/ Diese Verhältnisse betreffen in der Wasserwirtschaft vor allem Reinwasserpumpwerke und Verregnungspumpwerke für Abwasser, bei denen mit den Pumpen gegen ein unter Druck stehendes Netz gefahren wird. Natürlich ist es auch mit der Drehzahlregelung möglich, über Prozeßrechner oder Mikroprozessortechnik z.B. eine variable Kennlinie zur Füllung eines Behälters in Abhängigkeit von der Entnahme zu steuern. In diesem Fall sind die Kurvenpunkte für die unterschiedlichen Fördermengen bzw. Kennlinien der Pumpe als Funktion der Entnahme zu programmieren. /18/

Grundsätzlich sollte aber nicht in den Fehler verfallen werden, bestehende Pumpwerke einfach umrüsten zu wollen, ohne ein entsprechendes Kennlinienfeld des Gesamtpumpwerkes (projektmäßige Bearbeitung) für die Drehzahlregelung zu erarbeiten. /17/ Dies gilt für die Ausstattung mit Wechselrichtern bei bestehenden Drehstromantrieben. Es könnte sonst zu Überschneidungen kommen, bei denen die geregelte Pumpe unwirtschaftlich arbeitet. Besonders sollte darauf geachtet werden, daß die geregelte Pumpe hinsichtlich ihres Arbeitsbereiches nach einem Belastungsprofil so ausgewählt wird, daß der häufigste Arbeitspunkt möglichst im optimalen Wirkungsgrad liegt. /18/ Hinsichtlich des variablen Antriebes für die drehzahlgeregelte Pumpe unterscheidet man zwischen gesteuerten oder geregelten Gleichstrom- oder Drehstrommotoren sowie magnetischen und hydraulischen Regelkupplungen. Wegen des ungünstigen Wirkungsgrades sollten letztere möglichst vermieden werden./14, 17/

Der Vergleich zwischen geregeltem Gleich- oder Drehstromantrieb wurde über Regelbereich, Anlaufverhalten, Regelungsdynamik, Verlustleistung, Blindleistung und Kosten /13, 16/ geführt. Danach hat der GS-Antrieb in allen Bereichen Vorteile, besonders im Bereich der Kosten, wobei durch die aufwendigere Technik für DS-Antriebe doppelte bis mehrfache Werte erreicht werden. Außerdem liegt die Zuverlässigkeitsrate auf Grund der höheren Bauelementenzahl niedriger, und das Bauvolumen steigt. /13/ Bei entsprechender Wartung des Motors und Kollektors wird der GS-Antrieb als richtige Auswahl angesehen. /16/ Auch sollte der Einsatz von stromrichtergespeisten Synchronmaschinen erst ab 1 MW erfolgen. Dies gilt auch für die untersynchrone Stromrichterkaskade. /16/ Pumpenantriebe dieser Größenordnung werden in /8/ beschrieben. Der grundlegende Gedanke für die Einführung der Drehzahlregelung ist, daß die Pumpe mit der jeweils kleinstmöglichen Drehzahl zur Erhaltung des vorgegebenen Sollwertes gefahren wird. Außerdem bietet die Drehzahlregelung die Möglichkeit, den Leistungsbereich der Pumpe im Rahmen der Festigkeitsgrenzen zu erweitern. Energieeinsparungen liegen zwischen 22 % und 40 %. /7, 11, 16, 17, 19/ Die Energieeinsparung ist jedoch vom eingestellten Soll-Wert und von den auf die Verbrauchsschwankungen reagierenden Drehzahlregelungen abhängig. Wichtig ist, daß nur der gleiche Pumpentyp drehzahlgeregelt oder im Zweipunktbetrieb zwischen zwei Werten auf der $\dot{V}/H$-Linie (Drosselkennlinie) verglichen wird. Verschiedene Pumpentypen unterschiedlicher Größe für jeweils verschiedene Arbeitspunkte sind nicht sinnvoll miteinander zu vergleichen.

Die in /19/ dargelegte Berechnung der Energieeinsparung ist eine gute mathematische Beschreibung, jedoch für die Vorausberechnung schwer anwendbar. Hier sind weiter graphische Methoden anzuwenden. Die für die ständige Anpassung einiger Soll-Werte ermittelten Kurven müssen noch an Stunden-, Tages-, Monats- oder Jahresverbrauchsganglinien angeglichen werden, um eine optimale Energieausnutzung nachzuweisen. Sollte sich aus dem Kennlinienbild ($\dot{V}/H$-Diagramm) ergeben, daß die bisherige Nenndrehzahl der Pumpe nicht ausreicht, um einen Versorgungsbereich abzudecken, so kann, wie bereits genannt, der Drehzahlbereich der Pumpe erhöht und damit der Leistungsbereich erweitert werden. Dies muß jedoch nur im Rahmen der zulässigen Festigkeit und nach Rücksprache mit dem Pumpenhersteller erfolgen. Die neue Höchstdrehzahl ist dann zugleich die neue Bezugsgrenzlinie für die Ermittlung der Leistungseinsparung, da man ja nun mit einer Pumpe größerer Leistung arbeitet. Hiermit tritt auch eine positive Verschiebung des Leistungseinsparungsbereiches nach /19/ ein. Die Motorenauswahl muß stets nach dem maximal erforderlichen Drehmoment bei niedrigstem Druck und somit bei maximaler Fördermenge der Pumpe und der für diesen Punkt festgelegten Drehzahl erfolgen. Dies ist unbedingt zu beachten, um Überlastungen zu vermeiden.

Reinwasserpumpwerk mit Drehzahlregelung

1977 wurde im Hinblick auf die weit entwickelte Leistungselektronik ein Reinwasserpumpwerk mit Drehzahlregelung in Auftrag gegeben. Ziel war, den Versorgungsdruck zwischen 500 und 650 kPa bei einer Förderung von 300 m^3/h bis 2500 m^3/h konstant zu halten. Der technologisch-regelungstechnische Ablauf wurde vom Verfasser erarbeitet, das Projekt und die Ausführungsunterlagen für den steuerungs-, regelungs- und leistungstechnischen Teil hat der VEB Starkstromanlagenbau Rostock realisiert. Diesem sei noch gedankt für sein bereitwilliges Eingehen auf die speziellen Anforderungen dieses Pumpenbetriebes. Betriebsüberwachung, Brunnensteuerung und Filtersteuerung erfolgten durch den VEB GRW Teltow. Die Anlage wurde in den Jahren 1982/84 gebaut.

Funktion des Pumpwerkes

Die Technologie des Reinwasserpumpwerkes ist auf Bild 1 zu sehen.

Es sind insgesamt fünf Pumpen für das Reinwasserpumpwerk vorgesehen. Von diesen läuft die Pumpe I ständig und regelt den am Soll-Wert-Potentiometer 12 eingestellten Druck durch Veränderung der Drehzahl. Die Messung des Ist-Wertes erfolgt über einen Druckgeber am Druckwindkessel. Der Regelbereich der Pumpe I bewegt sich bei Einzelbetrieb je nach eingestellter Förderhöhe linear zwischen 300 m^3/h als Mindestabgabemenge des Werkes und 800 m^3/h. Die Zuschaltung einer weiteren Grundlastpumpe erfolgt dann am Ende des jeweiligen Regelbereiches elektronisch über Transistorschaltverstärker. Die Reihenfolge der Zuschaltung kann über einen Wahlschalter eingestellt werden. Alle Pumpen sind auf der Druckseite mit einem E-Schieber versehen, der sich nach dem Zuschalten öffnet und sich beim Abschalten erst schließt und dann die Pumpe abschaltet. Hierdurch ist gewährleistet, daß die geregelte Pumpe I während des Öffnens oder Schließens der Schieber der geschalteten Pumpen die Regelung vornimmt, ohne

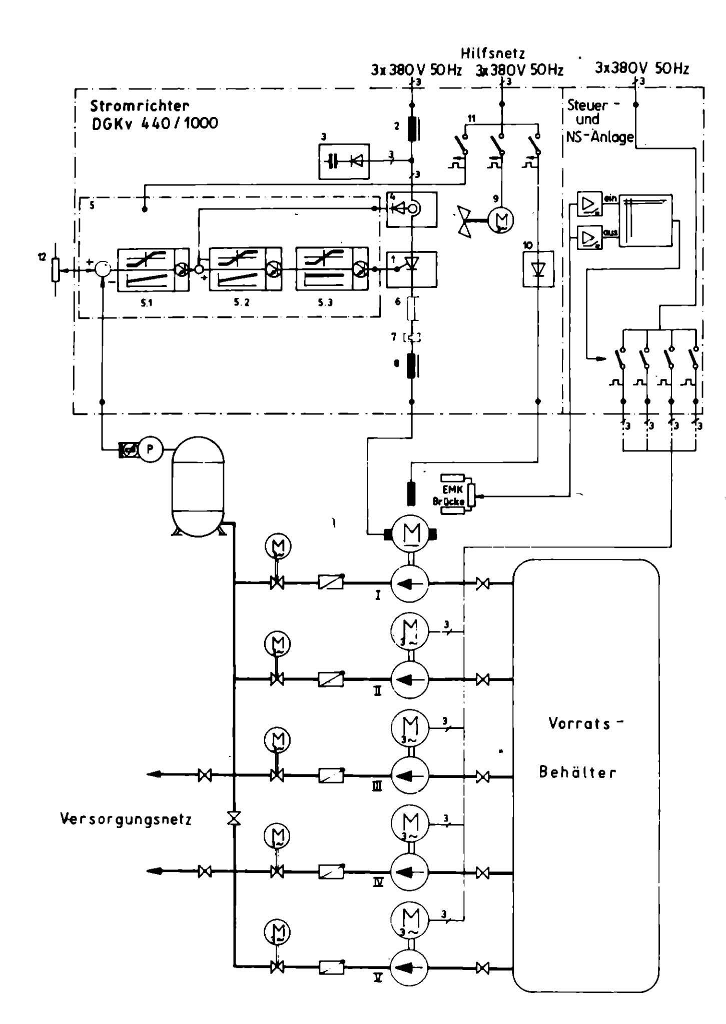


Bild 1
Schema des Pumpwerkes
(Legende unten rechts)

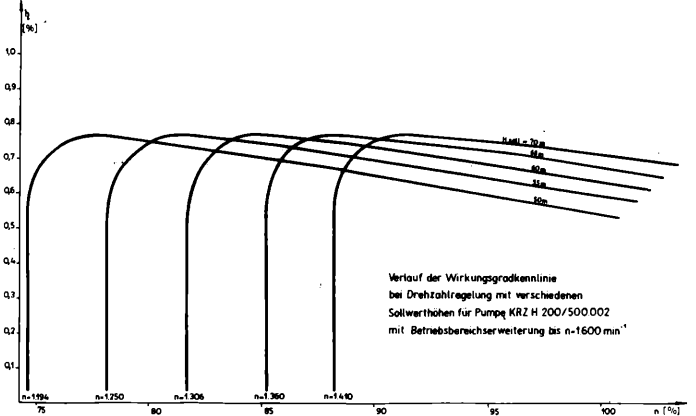


Bild 2
Wirkungsgrade als Funktion der Drehzahl

daß es zu wahrnehmbaren Druckschwankungen kommt. Um beim elektronischen Abschalten der Zusatzpumpen nicht zu weit in den Nullförderbereich zu gelangen, bei dem ja die Pumpenwirkungsgrade steil gegen Null gehen, wurde eine von der Pumpenfunktion abhängige, durch die EMK übertragene, mit dem Soll-Wert gekoppelte Zusatzfunktion aufgebaut, die den Abschaltprozeß entlang der Wirkungsgradlinie (54 %) steuert und auslöst. Hierdurch wird ebenfalls Energie eingespart, weil nicht minutenlang bei Nullförderung Leistungen von 40 kW und mehr in Anspruch genommen werden. Die Abschaltung der Zusatzpumpen erfolgt elektronisch in umgekehrter Reihenfolge wie die Zuschaltung und ist über den bereits erwähnten Schalter wählbar.

Pumpenauswahl

Wie aus den Erläuterungen zu Bild 1 ersichtlich ist, sind die Leistungen der fünf Reinwasserpumpen nicht gerade gering. Deshalb war mit der derzeit verfügbaren Drehstromdrehzahlregelung wegen der geringen Leistungsparameter nichts zu machen. Es mußte daher ein Gleichstromantrieb mit Fremdbelüftung verwendet werden, der bereits bei den ersten Erprobungen ein sehr gutes dynamisches Regelverhalten zeigte. Die Regelung des eingestellten Druckes läuft ohne sichtbare Schwankungen linear ab. Das gleiche gilt für das Zuschalten der Zusatzpumpen mit den gekoppelten E-Schiebern. Die unterschiedliche Größe der Pumpen – große Drehzahlregelpumpe und kleinere Zusatzpumpen – wurde deshalb gewählt, um durch die Überdeckungen der Kennlinien die Möglichkeit des Regelns über den gesamten Bereich des Pumpwerkes zu gewährleisten. Die Zusatzpumpen dürfen im Förderbereich nur so groß sein, daß sie in den Regelbereich der drehzahlgeregelten Pumpe passen. Oder mit anderen Worten gesagt, der Drehzahlregelbereich muß größer sein als die jeweils zugeschaltete Zusatzpumpe; dann ist eine lückenlose Regelung möglich. Dies ist auch im Kennlinienfeld des Pumpwerkes sichtbar.

Energieeinsparung

Die Pumpe mit der Drehzahlregelung wird zur Einhaltung des vom Soll-Wert vorgegebenen Druckes bzw. der Förderhöhe für jeden Arbeitspunkt nur mit der kleinstmöglichen Drehzahl gefahren. Somit zeigt der Vergleich mit einer konstant laufenden Pumpe in Abhängigkeit vom Soll-Wert und vom Betriebsbereich unterschiedliche Einsparungen an Kupplungsleistung. Die Einsparung liegt für die ausgewählte Pumpe maximal zwischen 15 und 25 % der erforderlichen Kupplungsleistung. Bei Erreichen der Nennleistung, bezogen auf den jeweiligen Soll-Wert-Druck von 100 %, beträgt die Einsparung etwa Null. Jetzt wird aber die Grundlast durch Zuschalten einer Pumpe erhöht, so daß die geregelte Pumpe wieder in den optimalen Bereich zurückgeht.

Wie aus dem Diagramm ersichtlich, sind bei drehzahlgeregelten Pumpen in den Teillastbereichen z. T. erheblich geringere Kupplungsleistungen bei gleicher Fördermenge gegenüber dem Konstantläufer erforderlich. In Kenntnis dieser Sachlage kann zusammenfassend gesagt werden, daß der Einsatz der Leistungselektronik zur Regelung von Pumpwerken noch mehr Anwendung finden sollte. Für den vorgestellten Fall wurde mit dem bereits erwähnten Antrieb ein Typen-Stromrichter DGKv440/1000 mit einem Wirkungsgrad von 0,97 des VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin verwandt. Wie aus dem Wirkungsgrad ersichtlich ist, treten bei der gesteuerten Gleichrichtung kaum Verluste auf.

Abschließend ist folgendes zu sagen: Die Drehzahlregelung von Kreiselpumpen in Pumpwerken bringt nicht nur energetische Vorteile, auch der konstante Netzdruck durch geführtes Zu- und Abschalten der Grundlastpumpen bei gleichzeitiger Anpassung an den Bedarf ist vorteilhaft. Gleichzeitig wird damit die geringstmögliche Belastung der Pumpen sowie die stufenlose Förderhöheneinstellung innerhalb des Betriebsbereiches bei optimalem Wirkungsgrad erreicht. Außerdem bringt die drehzahlgeregelte Pumpe einen merklich niedrigeren Geräuschpegel gegenüber den Konstantläufern.

Legende zu Bild 1:

1. Vollgesteuerte Drehstrombrücke
2. Kommutierungsdrossel
3. Schutzgleichrichter
4. Strom-Ist-Werterfassung
5. Steuer- und Regeleinrichtung
5.1. Drehzahlregler
5.2. Stromregler
5.3. Steuersatz
6. Shunt
7. einpoliger Überstromauslöser
8. Glättungsdrossel
9. Lüfter
10. Gleichrichter Feldspeisung
11. Leistungsschalter für Hilfsbetriebe

I Kreiselpumpe KRZH 200/500.002 drehzahlgeregelt mit fremdbelüftetem Gleichstromnebenschlußmotor MFC315 S1 LR22
P = 204 kW n = 1200–1600 min⁻¹ gewählter Regelbereich

II–V Kreiselpumpe KRZH 150/500.003 mit Drehstromkurzschlußläufermotor KMDR315M × 4
P = 160 kW n = 1480 min⁻¹

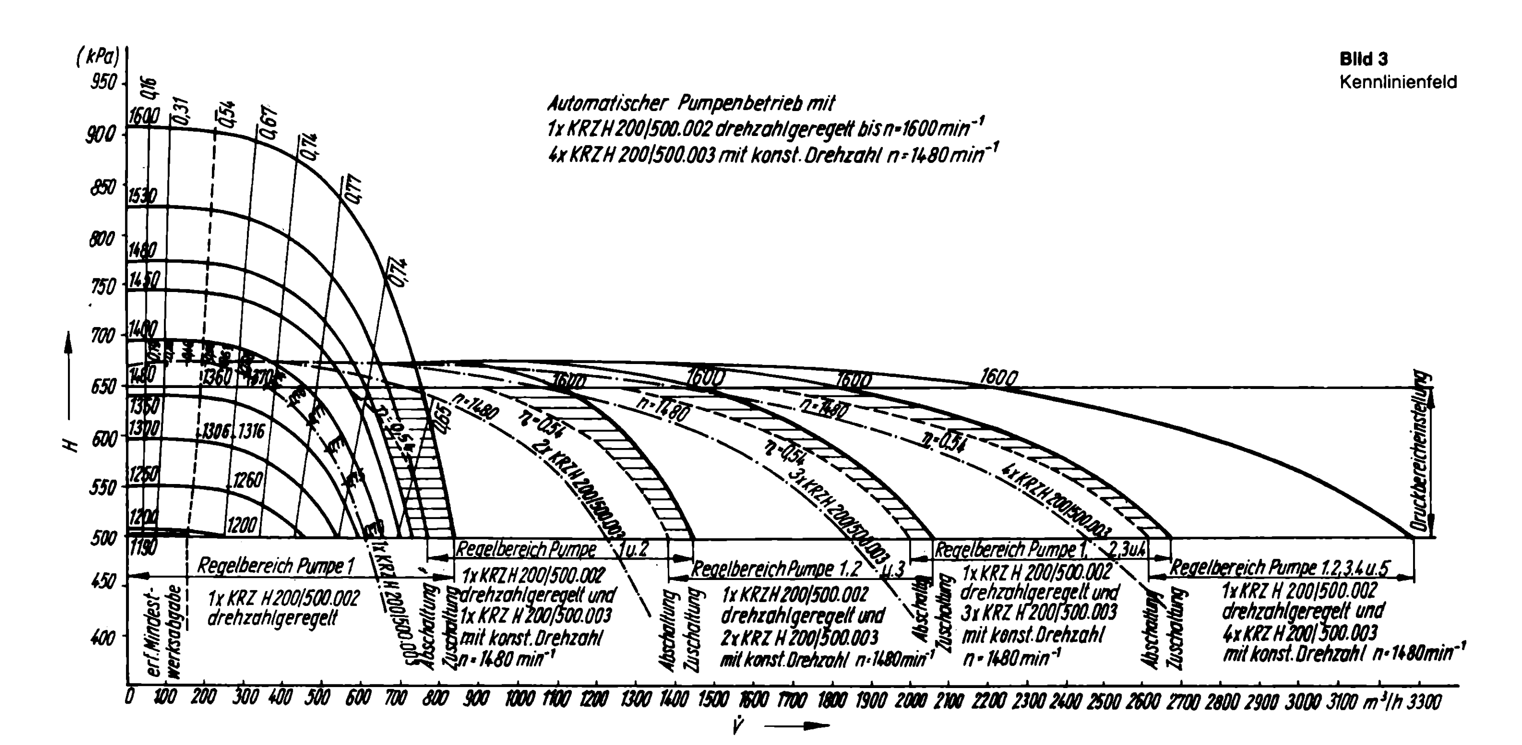


Bild 3 Kennlinienfeld

Literatur

/1/ *Mirke/Gersten:* Drehzahlregelung – ein Mittel wirtschaftlichen Pumpenbetriebes. In: Wasserwirtschaft – Wassertechnik. Berlin 15 (1965) 12, S. 424–427

/2/ *Scherle, M.:* Pumpen und Rohrleitungen im Zusammenwirken. In: Baumaschine und Bautechnik. H. 11 und 12 (1973) S. 424–486

/3/ *Coerper, M.:* Pumpendrehzahlen regeln. In: TR Nr. 25 (1978)

/4/ *Göckel, B:* Elektrische Antriebe und Antriebselemente. Hannover Messe (1979) VDI-Z121 (1979) 14, S. 707–712

/5/ Wechselstromsynthese hilft Energiesparen. VDI-Nachrichten **33** (1979) 36, S. 4

/6/ Spannung und Frequenz modulieren Geschwindigkeitsänderung. VDI-Nachrichten **33** (1979) 31, S. 2

/7/ *Sprengler, H.; Surek, D.:* Drehzahlverstellbare Elektromotorenantriebe für Pumpen und Verdichter. Pumpen und Verdichter-Informationen, Halle (1980) S. 18–23

/8/ *Köllensperger, D.; Schwab, A.:* Energieeinsparung mit stromrichtergespeisten drehzahlveränderbaren Antrieben am Beispiel eines Pumpenantriebes. Siemens Energietechnik **2** (1980) H. 7

/9/ *Šoustal, O.:* Regulačni systémy závla hovýck čerpacich stanic otáčkovou regulaci. Ceupadla, potrubi armatury (1980) 1 S. 51–56

/10/ *Kitner, H.; Starke, W.; Wissel, D.:* Wasserversorgung. 2. Aufl., VEB Verlag für Bauwesen Berlin 1967

/11/ *Michalke, N.; Dietze, W.:* Der drehzahlvariable Drehstromantrieb – ein Beispiel kompletter Antriebstechnik des VEM-Elektromaschinenbaus. Der Elektromaschinenbau, Technische Mitteilungen, 2/1981 S. 3–5

/12/ *Leonhard, W.:* Elektrische Regelantriebe im Maschinenbau. VDI-Z 123 (1981) Nr. 10, S. 419–428

/13/ *Kabisch, H.:* Technisch-ökonomische Probleme bei der Auswahl und beim Betrieb von thyristorgespeisten Antrieben. Der VEM-Elektro-Anlagenbau **16** (1980) 2, S. 55–59

/14/ *Barrow, C.:* Application of Variable Frequency Inverters to fumping Worlds Pumps 189 (1982) Juni, S. 284–289

/15/ *Parsons, B. W.:* Pumping Watereconomically. World Pumps 189 (1982) Juni, S. 293–295

/16/ *Göckel, B.:* Antriebssysteme für Abwasserpumpen. Techn. Mitteilung Essen 75 (1982) 5, S. 251–256

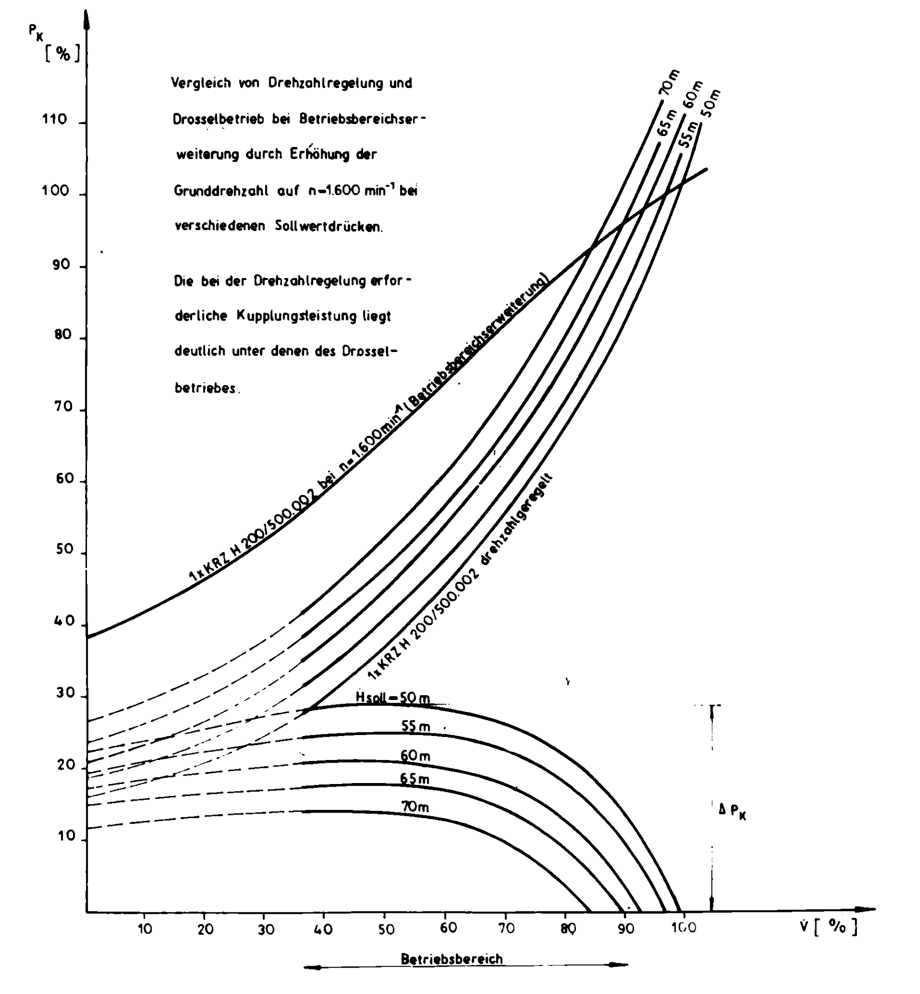
/17/ *Sacher, M.:* Drehzahlregelung im Pumpwerksbau – eine wirtschaftliche Investition oder technische Spielerei. Maschinen und Stahlbau Wien (1982) 3, Sondernummer

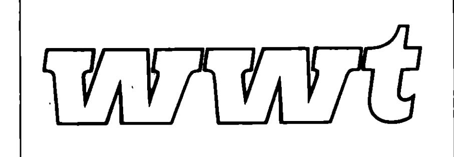
/18/ *Fink:* Stufenlose Drehzahlverstellung von Pumpen erlaubt weitere Regelmethoden. Maschinenmarkt Würzburg 88 (1982) 28, S. 523–525

/19/ *Stoof, K.; Spengler, H.:* Charakteristische Einsatzmöglichkeiten und ökonomische Grenzen der Einsetzbarkeit drehzahlverstellbarer Pumpenaggregate mit Drehstrom-Asynchronmotoren und elektronischer Stelleinrichtung. Pumpen und Verdichter, Informationen Halle (1982) 1, S. 10–17

/20/ Projektierungsrichtlinie Stromrichter VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin, Ausg. 1976 und 1981, Stand 1983

Bild 4 Leistungseinsparung gegenüber Konstantläufer mit erweitertem Leistungsbereich n = 1600 min⁻¹





Ratiomittelbau

Chlor-Betriebsmessung mittels Analysenautomaten

Ursprungsbetrieb: VEB WAB Rostock

Das entwickelte Gerätesystem wird genutzt, um den Chlorgehalt von Trinkwasser im Dauerbetrieb zu messen. Dem Analysenautomaten wird kontinuierlich Probematerial im Wechsel mit destilliertem Wasser zugeführt. Die Farbreaktion nach chemischer Umsetzung wird einer Extinktionsmessung unterworfen, die graphisch – dem Chlorgehalt entsprechend – dargestellt wird. Die als Wirtschaftspatent angemeldete Neuerung ist geeignet zur Chlorbestimmung in jedem Fließsystem, sofern es eine relativ gleichbleibende Eigenfärbung besitzt. Der Aufstellungsort sollte frei von größeren Temperaturschwankungen, Staubeinflüssen und Feuchtigkeitseinwirkungen sein. Die Vorteile dieses Gerätesystems liegen in der objektiveren, stets gleichen Bedingungen unterworfenen Meßwertbildung.

Chlorgaswarngerät

Ursprungsbetrieb: VEB Fernwasserversorgung Elbaue-Ostharz

Die Neuerung mißt kontinuierlich die Konzentration von Chlorgas in geschlossenen Räumen und zeigt die Überschreitung des eingestellten Grenzwertes optisch oder/und akustisch an. Ein Plastgehäuse (260 × 240 × 270 mm) gliedert sich in zwei voneinander abgeschlossene Kammern, in denen die Meß- und Signalgeber untergebracht sind. Luft des zu überwachenden Raumes wird mittels einer Pumpe durch destilliertes Wasser geleitet, wobei sich im Normalfall eine Widerstandsschaltung im Gleichgewicht befindet. Das Gerät verbessert den Arbeitsschutz für das Betriebs- und Wartungspersonal, indem es die Sicherheit von Chlorgasanlagen erhöht.

Automatische Umschaltung von Notstromaggregaten

Ursprungsbetrieb: VEB WAB Potsdam

Die Umschalteinrichtung dient der automatischen Inbetriebnahme von Notstromaggregaten bei Störungen an der Energieversorgung in Wasserversorgungs- und Abwasserbehandlungsanlagen. Bei Störungen (Ausfall der Energieversorgung, kritischer Ölstand, Öldruck und Temperatur) erfolgt eine zeitverzögerte automatische Inbetriebnahme des Notstromaggregats durch einen speziellen elektronischen Baustein. Eine Batterie löst den Startvorgang aus. Das Gerät schaltet sich nach 30 Sekunden stabiler Netzversorgung ab. Die Umschaltvorrichtung sichert vorwiegend in kleinen, nicht ständig besetzten wasserwirtschaftlichen Anlagen deren stabilen Betrieb.

Mobiler Prüfstand für Rückschlagklappen

Ursprungsbetrieb: VEB WAB Leipzig

Die Neuerung ermöglicht die Prüfung der Funktionsfähigkeit von Rückschlagklappen vor Ort oder am Arbeitstisch innerhalb der Werkstatt. Der fahrbare Prüfstand verfügt über einzelne abgesperrte Flanschanschlüsse für Rückschlagklappen der Nennweiten DN 80 und DN 100 und speziell für diesen Zweck angefertigte und wesentlich verkürzte C-Anschlußleitungen. Dadurch entfällt die umständliche und aufwendige Arbeit für das Ausrollen dieser C-Schläuche und das Prüfen der Armaturen mittels provisorischer Anschlüsse.
Die im Ursprungsbetrieb erprobte und benutzte Neuerung kann von allen Rationalisierungswerkstätten produziert werden. Eine Anwenderdokumentation liegt vor.

Vorrichtung zum Ein- und Ausbau der Ventile an 4-Takt-Motoren

Ursprungsbetrieb: VEB WAB Cottbus

Die Vorrichtung wird angewendet bei der Instandsetzung von 4-Takt-Motoren, bei denen die im Zylinderkopf gelagerten Ventilfedern zu spannen sind. Eine Grundplatte ist an einer Führungsbuchse angebracht, die mit Hilfe einer Zahnstangenlenkung ein leichtes montieren bzw. demontieren der Ventile ermöglicht. Auf den Gewindestutzen der Zahnstangenlenkung, M 14 × 1,5, kann wahlweise ein Druckstück für die unterschiedlichen Ventile der Motoren für die Fahrzeugtypen W50, Multicar, FIAT, LD und K161 aufgeschraubt werden. Durch die Entlastung der Ventilfeder kann das komplette Ventil aus dem Zylinderkopf entnommen bzw. eingebaut werden. Vorteile für den Anwender liegen in der Einsparung von 40 Minuten Arbeitszeit je aufzuarbeitenden Zylinderkopf.

Fördersystem zum Aufwirbeln und Fördern von Fördergut

Ursprungsbetrieb: VEB WAB Gera

Die Vorrichtung dient dem Aufwirbeln, der Aufnahme und dem Transport von abgelagerten Stoffen in Flüssigkeiten aller Art aus Baugruben, Gewässern und Behältern. Sie eignet sich vorzugsweise zur Reinigung von verlandeten Faulbehältern in Kläranlagen. Die Konstruktion erlaubt geschlossene Behälter bis auf den Grund zu leeren, ohne vorher etwaige Einbauten bergen zu müssen. Mechanisch gereinigtes Abwasser dient zum Aufwirbeln der Ablagerungen. Mittels einer speziell angeordneten Abwassertauchpumpe wird das Abwasser-Sand-Schlamm-Gemisch anschließend in die Schlammtrockenbeete oder auf andere vorbereitete Flächen gefördert. Die Vorteile des Fördersystems liegen darin, daß es als betriebliches Rationalisierungsmittel hergestellt werden kann, eine kontinuierliche Beräumung von Behältern ermöglicht und zugleich schwere und gesundheitsschädigende Arbeit reduziert.

Montagevorrichtung für Steinzeugrohre

Ursprungsbetrieb: VEB WAB Berlin

Der Einsatz der Montagevorrichtung erfolgt beim Verlegen von Steinzeugrohren DN 100 bis 300. Das Zusammenziehen von Steinzeugrohren kann durch die neue Lösung schneller und unkomplizierter erfolgen. Das wird erreicht, indem hinter die Muffe des bereits verlegten Rohres ein Bügel gesteckt wird, der etwa in Höhe der Rohrachse mit zwei Drehpunkten versehen ist, an dem der Bedienhebel angebracht wird. Über ein längsverstellbares Gestänge und einen Querholm wird von Hand das Einrollen bzw. Einziehen erreicht, so daß das Spitzende zentrisch mit dem Rollgummiring in die Muffe geführt wird. Die Arbeitszeiteinsparung je Meter Steinzeugrohrleitung beträgt 0,15 h. Die Vorrichtung ist einfach im Aufbau und kann in jeder Rationalisierungsmittelwerkstatt hergestellt werden.

Kabelaufrollvorrichtung für Bau- und Brunnenanschlüsse

Ursprungsbetrieb: VEB WAB Rostock

Auf einem Transportanhänger Typ HP 750 wurde eine Kabelaufrollvorrichtung angebracht. Diese dient der rationellen Verlegung von Kraftstromverlängerungskabeln. Das Kabel, das auf der Kabelaufrollvorrichtung aufgewickelt ist, kann rationell verlegt und nach Abschluß der Arbeiten auf der Baustelle ohne großen Aufwand aufgenommen und rückgeführt werden. Das Gerät kann in jeder Rationalisierungswerkstatt angefertigt werden.

Sanierung von Schachtköpfen

Ursprungsbetrieb: VEB WAB Frankfurt (O.)

Mittels einer speziellen Schalung lassen sich Schachtköpfe mit einem Innendurchmesser von etwa 570 mm reparieren, wobei auf Klinkersteine verzichtet werden kann. Die Schalung wird in den Schachtkonus bzw. in die Aufmauerung eingesetzt, verspannt und dann betoniert. Der Vorteil besteht darin, daß die vorhandene Klinkerschicht nicht komplett ausgestemmt werden muß, wenn nicht alle Steine zerstört sind. Das Heben der Schächte ist maßhaltig möglich.

Erdbohrgerät

Ursprungsbetrieb: WWD Saale-Werra

Das Gerät wird von Hand durch Drehbewegung in den Boden getrieben. Die Verlängerung des Bohrgestänges erfolgt in Meterlänge mittels Schraubmuffen. Wenn das Gestänge nicht mehr mit Hand gezogen werden kann, kommt ein Dreibock mit Scherzug zum Einsatz. Die Bohrtiefe kann an einer Meßeinteilung am Gestänge fortlaufend abgelesen werden. In die Bohrung kann ein Beobachtungsrohr bis DN50 eingeführt werden. Die Dokumentation der erprobten Lösung liegt im Ursprungsbetrieb vor. Die Anfertigung ist in allen Rationalisierungswerkstätten möglich, Kosten in Höhe von 6700,– M werden eingespart.

Bemerkungen zur knotenorientierten Rohrnetzberechnung

Dr. sc. techn. Dietrich LUDEWIG
Beitrag aus dem Institut für Wasserwirtschaft

Die hydraulische Berechnung von Rohrnetzen zur Ermittlung des Druck- und Fließzustands in Wasserversorgungssystemen wurde bisher in der Praxis fast ausschließlich maschenorientiert durchgeführt. Bei dieser Berechnungsart startet man die Iteration mit Durchflußwerten der Rohrleitungen und Pumpen, die die Massebilanz (Kontinuitätsbeziehung) in allen Knoten erfüllen, und berechnet aus den Rest-Druckhöhen der Maschen Durchflußkorrekturen für die Rohrleitungen und Pumpen. Nach mehreren, oft erst nach sehr vielen Iterationszyklen unterschreiten die maximale Rest-Druckhöhe und die maximale Durchflußkorrektur die vorgegebenen Genauigkeitsschranken, und die Lösung wird als erreicht angesehen. Aus der Durchflußverteilung im Netz ergeben sich dann die Knotendruckhöhen.
Rechenprogramme auf der Grundlage dieser maschenorientierten Betrachtung werden in der Praxis seit ungefähr 15 Jahren angewendet. Sie arbeiten entweder nach dem Cross-Verfahren /1, 2, 4/ oder mit Simultan-Iteration (auch Simultan-Approximation genannt), d. h. mit gekoppelter Berechnung der Durchflußkorrekturen für alle Maschen. /9/
Die knotenorientierte Rohrnetzberechnung, bei der die Maschen eines Netzes bedeutungslos sind, ist vergleichsweise weniger bekannt. Gründe dafür sind u. a.

- die verbreitete (irrtümliche) Ansicht, daß es ohne Einbeziehen der sog. Maschenregel eine richtige Lösung nicht geben könne;
- die schlechten Konvergenzeigenschaften der knotenorientierten Berechnung bei Einzel-Iteration;
- die vergleichsweise größeren Gleichungssysteme, die bei der knotenorientierten Simultan-Iteration entstehen.

Der letztgenannte Grund war in den Anfängen der Computer-Nutzung bei kleinen Speichern und niedrigen Rechengeschwindigkeiten ein objektives Hindernis für die Anwendung der knotenorientierten Simultan-Iteration. Inzwischen ist die Gleichwertigkeit, vielleicht auch Überlegenheit dieser knotenorientierten Rohrnetzberechnung international allgemein anerkannt. Ihre Vorzüge sind vor allem kürzere Programme und die realitätsnahe Modellierung der Netze ohne Rücksicht auf graphentheoretisch begründete zusätzliche Leitungen bei Netzen mit mehreren Behältern. /3, 5/
Im Unterschied zur maschenorientierten Berechnung ist das primäre Ziel der knotenorientierten Berechnung die Ermittlung der Knotendruckhöhen, aus denen in Verbindung mit den Durchflußkennlinien der Rohrleitungen und Pumpen sofort die Durchflußwerte folgen.
Für die unbekannten Knotendruckhöhen entsteht aus den Massebilanzen für diese Knoten ein nichtlineares Gleichungssystem, das bei der Simultan-Approximation durch wiederholtes Erzeugen und Lösen eines linearisierten Systems gelöst wird.
Für die Linearisierung ist das *Newton-Raphson*-Verfahren (im folgenden mit NRV abgekürzt) in seiner Grundform /10/ oder in einer modifizierten Form /3, 6/ üblich, oder es wird mit der sog. Widerstands- oder Leitwert-Linearisierung (im folgenden mit WLL abgekürzt) gearbeitet. In früheren Beiträgen hat der Verfasser dafür die Bezeichnung „reziproke Linearisierung" verwendet. /7, 8/
Das NRV benötigt Startwerte für die Knotendruckhöhen. In seiner Grundform hängt die Konvergenz des Verfahrens sehr von der Güte der Startwerte und von speziellen Eigenschaften des Rohrleitungssystems ab. Die modifizierte Form sichert und beschleunigt die Konvergenz durch ein geeignetes Abmindern der Druckhöhenkorrekturen in den einzelnen Schritten.
Die WLL benötigt keine Startwerte für die Knotendruckhöhen, weil mit ihr nicht Druckhöhenkorrekturen, sondern die Druckhöhen selbst berechnet werden und im ersten Schritt nur plausible Leitwerte erforderlich sind. Beide Methoden sind mathematisch gesehen verwandt, so daß der Algorithmus für beide als Einheit aufgebaut werden kann.
Grundgleichungen der knotenorientierten Berechnung sind die Durchflußgleichungen der durchflossenen Netzkomponenten (Widerstandsgesetz der Rohrleitungen, Kennlinien der Pumpen) und die Massebilanzen (Kontinuitätsbedingungen) für die Knoten.

Für die Rohrleitungen gilt

$$\Delta H = H_i - H_j = x \cdot \dot{V}_{i,j} \cdot |\dot{V}_{i,j}| \qquad (1)$$

oder

$$\dot{V}_{i,j} = \frac{1}{\sqrt{x}} \cdot \sqrt{|H_i - H_j|} \cdot \operatorname{sgn}(H_i - H_j), \qquad (2)$$

wobei

$$x = 0{,}810\,57 \cdot \lambda \cdot l/d^5 \cdot 1/g \qquad (3)$$

(Einheiten m und s)

und

$$\lambda = f(\mathrm{Re}, k/d) \qquad (4)$$

nach *Prandtl-Colebrook*.

Die Massebilanzen für die Knoten lauten bei einheitlicher, konstanter Dichte des Mediums im Rohrleitungssystem

$$\sum (\pm \dot{V}_{i,j}) + \dot{V}_{ei} = 0 \qquad (5)$$

($\dot{V}_{ei}$ – Entnahme-Volumenstrom am Knoten i).
Nach dem *Newton-Raphson*-Verfahren wird wie folgt vorgegangen (Erläuterung an einem Netzausschnitt entsprechend Bild 1):

Die algebraische Durchflußsumme für den Knoten 2 ist während der Iteration gleich dem Durchflußrest $\dot{V}_{res,2}$:

$$\dot{V}_{2,1} + \dot{V}_{2,3} - \dot{V}_{4,2} + \dot{V}_{e2} = \dot{V}_{res,2} \ . \qquad (6)$$

Ziel der Berechnung ist $|\dot{V}_{res,2}| < \varepsilon$ und für das gesamte Netz max $|\dot{V}_{res,i}| < \varepsilon$.
Die Indizes i und j der Leitungsdurchflüsse zeigen die Abhängigkeit von den entsprechenden Knotendruckhöhen.
Newton-Raphson-Ansatz für Knoten 2:

$$\Delta H_1 \cdot \frac{\delta \dot{V}_{2,1}}{\delta H_1} + \Delta H_2 \cdot \left(\frac{\delta \dot{V}_{2,1}}{\delta H_2} + \frac{\delta \dot{V}_{2,3}}{\delta H_2} - \frac{\delta \dot{V}_{4,2}}{\delta H_2} \right)$$
$$\Delta H_3 \cdot \frac{\delta \dot{V}_{2,3}}{\delta H_3} + \Delta H_4 \cdot \left(- \frac{\delta \dot{V}_{4,2}}{\delta H_4} \right) = - \dot{V}_{res,2} \qquad (7)$$

ΔH_i sind die gesuchten Korrekturen für die Knotendruckhöhen. Die partiellen Ableitungen der Leitungsdurchflüsse entsprechend Gl. (2) nach den Unbekannten H_i und H_j lauten:

$$\frac{\delta \dot{V}_{i,j}}{\delta H_i} = \frac{1}{2\sqrt{x} \cdot \sqrt{|H_i - H_j|}} \qquad (8a)$$

$$\text{bzw.} \ \frac{\delta \dot{V}_{i,j}}{\delta H_j} = - \frac{1}{2\sqrt{x} \cdot \sqrt{|H_i - H_j|}} \ . \qquad (8b)$$

Mit $\sqrt{|H_i - H_j|} = \sqrt{x} \cdot |\dot{V}_{i,j}|$ nach Gl. (2) kann geschrieben werden:

$$\frac{\delta \dot{V}_{i,j}}{\delta H_i} = \frac{1}{2x\,|\dot{V}_{i,j}|} \ \text{bzw.} \ \frac{\delta \dot{V}_{i,j}}{\delta H_j} = - \frac{1}{2x\,|\dot{V}_{i,j}|} \ . \qquad (9)$$

Unter Verwendung der Hilfsvariablen

$$b_{i,j} = 1/(x_{i,j} \cdot |\dot{V}_{i,j}|) \qquad (10)$$

nimmt dann Gl. (7) folgende Form an:

$$\begin{aligned} &\Delta H_1 \cdot (-0{,}5\, b_{2,1}) \\ &+ \Delta H_2 \cdot 0{,}5 \cdot (b_{2,1} + b_{2,3} + b_{4,2}) \\ &+ \Delta H_3 \cdot (-0{,}5\, b_{2,3}) \\ &+ \Delta H_4 \cdot (-0{,}5\, b_{4,2}) = - \dot{V}_{res,2} \end{aligned} \qquad (11)$$

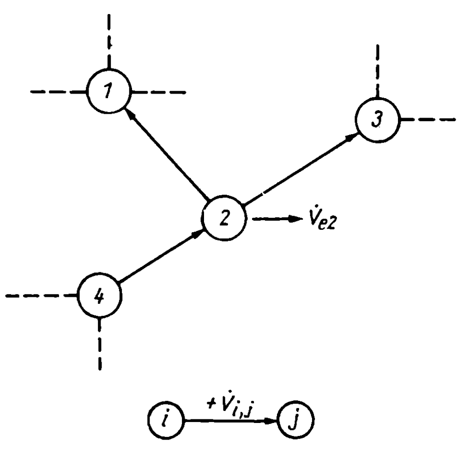


Bild 1 Ausschnitt eines Rohrnetzes

Die Koeffizientenmatrix für das gesamte Netz hat folgende Eigenschaften:
Die Matrix ist symmetrisch. Die von Null verschiedenen Nebendiagonalelemente sind negativ, die Hauptdiagonalelemente gleich der negativen Summe der Nebendiagonalelemente der betrachteten Zeile (oder Spalte). Die Matrix ist wegen des meist geringen Verknüpfungsgrades des Netzes dünn besetzt.
Die Lösung des linearen Gleichungssystems liefert die Druckhöhenkorrekturen ΔH, mit denen die Näherungswerte der Druckhöhen verbessert werden. In der Grundform des NRV wird mit

$$H^{(i)} = H^{(i-1)} + \Delta H^{(i)} \quad (12)$$

in der modifizierten Form mit

$$H^{(i)} = H^{(i-1)} + r_i \cdot \Delta H^{(i)} \quad (13)$$

gearbeitet. Für die neuen Druckhöhen ergeben sich nach Gl. (2) verbesserte Durchflußwerte, mit denen das lineare Gleichungssystem neu erzeugt und gelöst wird.
Nach der Methode der Widerstands- oder Leitwert-Linearisierung verwendet man den Ansatz

$$\dot{V}_{i,j} = b_{i,j} \cdot (H_i - H_j) \ , \quad (14)$$

wobei die Gln. (1) und (2) mit

$$b_{i,j} = 1/(\varkappa_{i,j} \cdot |\dot{V}_{i,j}|) \quad (15)$$

erfüllt werden.
Die b-Werte werden zu Beginn der Iteration geschätzt, z. B. durch Annahme von Durchflußwerten von $|\dot{V}| = v_0 \cdot A$ (A = Querschnittsfläche). Das entspricht der einheitlichen Fließgeschwindigkeit v_0 in allen Leitungen ohne Richtungsvorgabe. Während der Iteration werden die b-Werte mit den neu berechneten Durchflußwerten aktualisiert.
Für den Knoten 2 in Bild 1 entsteht aus der Kontinuitätsbedingung die folgende Gleichung:

$$b_{2,1} \cdot (H_2 - H_1) + b_{2,3} \cdot (H_2 - H_3) - b_{4,2} \cdot (H_4 - H_2) + \dot{V}_{e2} = 0 \quad (16)$$

$$H_1 \cdot (-b_{2,1}) + H_2 \cdot (b_{2,1} + b_{2,3} + b_{4,2}) + H_3 \cdot (-b_{2,3}) + H_4 \cdot (-b_{4,2}) = -\dot{V}_{e2} \ . \quad (17)$$

Im Unterschied zu Gl. (11) sind hier die Unbekannten des Gleichungssystems nicht die Druckhöhenkorrekturen ΔH, sondern die Knotendruckhöhen H selbst. Startwerte für die Knotendruckhöhen werden deshalb nicht benötigt. Auch hier ist die Koeffizientenmatrix symmetrisch und positiv definit und zeigt die gleiche Besetzung mit Nicht-Null-Elementen. Unterschiede ergeben sich im Einarbeiten der Randbedingungen (Behälter).

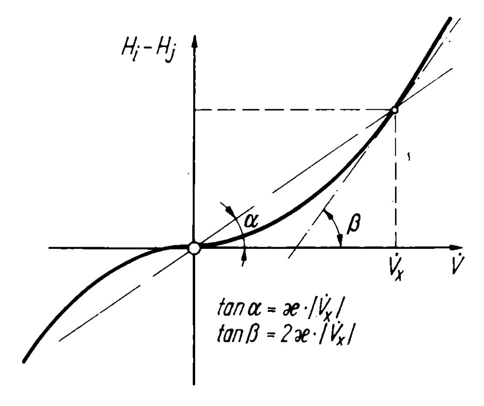


Bild 2 Linearisierung der Durchflußgleichung einer Rohrleitung

```
C* G L K N S A  ASSEMBLIERT DIE KOEFFIZIENTENMATRIX
C* UND DEN VEKTOR DER R.S. FUER DIE KNOTENORIENTIERTE
C* SIMULTAN-APPROXIMATION DER ROHRNETZBERECHNUNG
C* UNTER FOLGENDEN VORAUSSETZUNGEN:
C*
C* DIE OBERE RECHTE HAELFTE DER SYMM. KOEFFIZIENTEN-
C* MATRIX WIRD IM VEKTOR A ALS DREIECK, BAND ODER IN
C* KOMPRIMIERTER FORM GESPEICHERT (LVEK = LAENGE VON A)
C*
C* JEDE LEITUNG (ANZAHL LANZ) WIRD DURCH DIE KNOTEN-
C* NR. KLA UND KLE BEGRENZT (BEDINGUNG KLA .LT. KLE).
C* DIE KNOTENNUMMERN 1...KU SIND DIE KNOTEN UNBEKANNTER
C* DRUCKHOEHE, KNOTEN BEKANNTER DRUCKHOEHE (HC-KNOTEN)
C* HABEN HOEHERE NUMMERN
C* JEDE LEITUNG BEEINFLUSST IN A
C* - 2 HAUPTDIAGONAL-ELEMENTE (INPUT-INDIZES IAH1, IAH2)
C* - 1 NEBENDIAGONAL-ELEMENT (INPUT-INDEX IAND)
C* AUSNAHMEN SIND LEITUNGEN MIT ANSCHLUSS AN HC-KNOTEN
C*
C* FUER NVAR = 1: NEWTON-RAPHSON-LINEARISIERUNG
C* DER R.S.-VEKTOR B ENTHAELT NACH DER LOESUNG DIE
C* DRUCKHOEHEN-KORREKTUREN
C*
C* FUER NVAR = 2: WIDERSTANDSLINEARISIERUNG
C* DER R.S.-VEKTOR B MUSS IN DEN POSITIONEN .GE. KU+1
C* DIE HC-WERTE ENTHALTEN. NACH DER LOESUNG STEHEN IN
C* B DIE DRUCKHOEHEN
C*
C* WEITERE INPUTS:
C* RBW  - REIBUNGSBEIWERTE AUS DEM ANSATZ DH=RBW*VP**2
C* VP   - VOLUMENSTROEME DER LEITUNGEN
C* VPE  - KNOTENBEZOGENE ENTNAHMEN (VOLUMENSTROEME)
C*        (ENTNAHMEN +, EINSPEISUNGEN -)
C* VPMIN- MINDESTVOLUMENSTROEME ZUR BEGRENZUNG VON BEL
C* OUTPUT:
C* A    - KOEFFIZIENTEN-VEKTOR
C* B    - VEKTOR DER RECHTEN SEITE
C*
      SUBROUTINE  G L K N S A
     1 (NVAR, KU, LANZ, LVEK,
     2  KLA, KLE, IAH1, IAH2, IAND,
     3  RBW, VP, VPMIN, A, B, VPE)
C*
      DIMENSION
     1 KLA(1), KLE(1), IAH1(1), IAH2(1), IAND(1),
     2 RBW(1), VP(1), VPMIN(1), A(1), B(1), VPE(1)
C*
C* FAKTOR F1 ZUR VARIANTEN-STEUERUNG
      F1 =0.5 *NVAR
C* NULLSETZEN VON A
      DO 10 I=1,LVEK
        A(I) =0.
   10 CONTINUE
C* EINSETZEN DER KNOTEN-ENTNAHMEN IN DEN R.S.-VEKTOR
      DO 20 I=1,KU
        B(I) =-VPE(I)
   20 CONTINUE
C* DO-SCHLEIFE UEBER ALLE LEITUNGEN
      DO 50 I=1,LANZ
        NKA =KLA(I)
        NKE =KLE(I)
        IF (NKA .GT. KU) GO TO 50
C* LEITUNG ZWISCHEN ZWEI HC-KNOTEN IST OHNE EINFLUSS
        VPHA=AMAX1(ABS(VPH), VPMIN(I))
        BEL =F1/(RBW(I) *VPHA)
        IHD1 =IAH1(I)
        A(IHD1) =A(IHD1) +BEL
        IF (NKE .GT. KU) GO TO 40
        IHD2 =IAH2(I)
        A(IHD2) =A(IHD2) +BEL
        IND1 =IAND(I)
        A(IND1) =A(IND1) -BEL
        IF (NVAR .EQ. 2) GO TO 50
C* FUER NVAR=1 EINARBEITEN DES DURCHFLUSSES IN DEN
C* R.S.-VEKTOR
        B(NKA) =B(NKA) -VPH
        B(NKE) =B(NKE) +VPH
        GO TO 50
C* NKE IST EIN HC-KNOTEN:
   40   IF (NVAR .EQ. 1) B(NKA) =B(NKA) -VPH
        IF (NVAR .EQ. 2) B(NKA) =B(NKA) +BEL *B(NKE)
   50 CONTINUE
      RETURN
      END
```

Bild 3 FORTRAN-Subroutine zum Aufbau des linearen Gleichungssystems für Rohrnetze mit Behälter-Einspeisung

Die Verwandtschaft beider Verfahren wird sehr deutlich, wenn man die WLL mit Gl. (12) auf die Berechnung von Druckhöhenkorrekturen umstellt. Man erhält dann für Gl. (17)

$$\begin{aligned} &\Delta H_1 \cdot (-b_{2,1}) \\ &+ \Delta H_2 \cdot (b_{2,1} + b_{2,3} + b_{4,2}) \\ &+ \Delta H_3 \cdot (-b_{2,3}) \\ &+ \Delta H_4 \cdot (-b_{4,2}) \\ &\qquad = -(\dot{V}_{2,1} + \dot{V}_{2,3} - \dot{V}_{4,2} + \dot{V}_{e2}) \\ &\qquad = -\dot{V}_{res,2} \; . \end{aligned} \tag{18}$$

Der Vergleich mit dem NRV (Gl. 11) zeigt, daß sich die Koeffizienten der Unbekannten bei gleichen rechten Seiten im Faktor 0,5 unterscheiden. Das NRV liefert also bei gleichem Approximationsstand doppelt so große Druckhöhenkorrekturen wie die WLL in der ΔH-Version.

Diese Aussage kann an Hand des Bildes 2 anschaulich erläutert werden. Das NRV arbeitet mit der Tangente an die Durchflußparabel $\Delta H = f(\dot{V})$ gemäß den Gln. (1) und (8), die WLL mit der Sekante durch den Ursprung und den aktuellen Arbeitspunkt. Der Anstieg der Tangente ist doppelt so groß wie der dieser Sekante, so daß für die gleiche Durchflußänderung eine doppelt so große Änderung des ΔH-Werts auftritt.

Hinsichtlich des Konvergenzverhaltens neigt das NRV in seiner Grundform stark zu Schwingungen, die oft 20 bis 30 Iterationszyklen erforderlich werden lassen. Die WLL dagegen ist außerordentlich konvergenzstabil, ihr Konvergenzverhalten entspricht dem des modifizierten NRV bei Anwendung eines konstanten r-Faktors von 0,5 in Gl. (13). Die WLL benötigt im allgemeinen acht bis zwölf Zyklen.

Durch Kombination beider Verfahren konnte eine sehr effektive praxisreife Lösung entwickelt werden. Sie wurde an zahlreichen Rohrnetzen unterschiedlicher Größe und Netzbelastung erprobt. Sie arbeitet im ersten Iterationsschritt mit der WLL, wodurch Näherungswerte für die Knotendruckhöhen entfallen. Es wird für die Leitwerte aller Rohrleitungen eine Fließgeschwindigkeit von 1,5 m/s angenommen. In diesem ersten Zyklus werden die Randwerte (Behälter) in den Lösungsvektor $H^{(1)}$ eingearbeitet. Dann wird ab dem zweiten Schritt das NRV angewendet, wobei es sich als vorteilhaft erwiesen hat, als r-Faktoren die Werte 0,5 und 1,0 von Zyklus zu Zyklus zu wechseln. Der Aufwand für eine Optimierung des r-Faktors entsprechend dem jeweiligen Approximationsstand /3/ erschien unangemessen hoch. Eine sehr genaue Lösung der Druck- und Durchflußverteilung wird nach insgesamt fünf bis acht Iterationszyklen erreicht.

Die λ-Werte der Rohrleitungen können erfahrungsgemäß ab dem 3. Zyklus für die sich einstellenden Durchflußwerte nach der *Colebrook*-Formel aktualisiert werden. Die Gesamtzahl der Zyklen wird dadurch nur selten vergrößert.

Die Algorithmen dieser knotenorientierten Rohrnetzberechnung wurden in FORTRAN mit variabler Dimensionierung der Datenfelder formuliert, so daß sie auf allen Computern mit FORTRAN-Compiler bei nur geringer Anpassungsarbeit implementiert werden können. Sie enthalten Bausteine für die Netztopologie (mit Permutation der originalen Knotennumerierung zur Reduzierung von Speicherbedarf und Lösungszeit für das lineare Gleichungssystem) und für die Wirkung von Kreiselpumpen. Die Algorithmen sind so angelegt, daß für ein Netz viele Verbrauchssituationen in Folge mit Aktualisierung von Behälter- und Pumpenbetriebszuständen durchgerechnet werden können (Prozeßführung von Wasserverteilungssystemen).

Bild 3 zeigt die Algorithmen für das Erzeugen des linearen Gleichungssystems der knotenorientierten Simultan-Approximation für Rohrnetze mit Behälter-Einspeisung ohne Pumpen in Form einer FORTRAN-Subroutine. Für NVAR = 1 wird das NRV wirksam, für NVAR = 2 wie WLL.

Zusammenfassung

Für die Rohrnetzberechnung in Form der knotenorientierten Simultan-Approximation werden zwei Vorgehensweisen erläutert: das *Newton-Raphson*-Verfahren und die Methode der Widerstands- oder Leitwert-Linearisierung. Ihre Kombination nutzt die Vorzüge beider Verfahren; sie beschleunigt die Konvergenz und spart Computerzeit.

Literatur

/1/ *Bähler, M.; Nestler, W.:*
Die Berechnung vermaschter Rohrnetze auf dem Kleincomputer SER2d. In: Wasserwirtschaft–Wassertechnik. – Berlin **21** (1971) 3, S. 80–84.

/2/ *Bornitz, U.:*
Die Berechnung von Wasserrohrnetzen auf dem digitalen elektronischen Rechenautomaten D1. In: Wasserwirtschaft–Wassertechnik. – Berlin **12** (1962) 11, S. 493–497

/3/ Elektronische Berechnung von Rohr- und Gerinneströmungen. Herausgegeben von *W. Zielke*. Erich Schmidt Verlag, 1974.
(Mit Beiträgen u. a. von *H. Vielhaber, W. Endres, R. Cembrowicz*)

/4/ *Kahle, F.; Küstner, H.:*
Berechnung von Wasserversorgungsanlagen. mit Hilfe großer EDVA. In: Wasserwirtschaft–Wassertechnik. – Berlin **22** (1972) 11, S. 368–371

/5/ *Korte, J. W.; Vielhaber, H.:*
Ein Beitrag zur elektronischen Berechnung von Wasserversorgungsnetzen. gwf 108 (1967), H. 8, S. 190–195, H. 14, S. 373–376, H. 24, S. 674–679 und H. 28, S. 781–787.

/6/ *Lemieux, P. F.:*
Efficient Algorithm For Distribution Networks. Journal Hydr. Div., Proc. ASCE 98 (1972), Hy11, S. 1911–1920.

/7/ *Ludewig, D.:*
Beitrag zur Rohrnetzberechnung mit Digitalautomaten. In: Wasserwirtschaft–Wassertechnik. – Berlin **21** (1971) 5, S. 160–166.

/8/ *Ludewig, D.:*
Technologische und hydraulische Probleme der Fernwasserversorgung. Diss. B, TU Dresden 1972

/9/ *Ludewig, D.:*
Verbesserte Algorithmen für die Rohrnetzberechnung mit dem Kleinrechnersystem 4200. In: Wasserwirtschaft–Wassertechnik. – Berlin **31** (1981) 8, S. 274–276.

/10/ *Martin, D. W.; Peters, G.:*
The Application of Newton's Method to Network Analysis By Digital Computer. Journal Inst. of Water Eng. 17 (1963), H. 2, S. 115–129.

/11/ *Sytin, A. P.; Nogaj, N. M.; Petutin, Ju. S.; Šmarakov, V. M.:*
Gidravličeski rasčet sistem vodosnabženija na EVM serii ES metodom uzlovych naporov. Vodosnabženije i sanitarnaja technika (1977), H. 6, S. 12–13.

Rationellere Nutzung der Wasserressourcen in Bulgarien

Auf den ersten Blick erscheint Bulgarien als ein Land kristallklarer Bergseen und ewig sprudelnder Quellen. Aber abgesehen vom Schwarzen Meer im Osten und der Donau im Norden verfügt das vorwiegend gebirgige Land nur über bescheidene Wasserquellen. In der Statistik nimmt die Volksrepublik unter den Ländern Europas hinsichtlich der nutzbaren Oberflächengewässer den vorletzten Platz ein, steht im Wasserverbrauch hingegen an vierter Stelle.

Den Dürrekatastrophen vergangener Jahrhunderte hat das sozialistische Bulgarien mit über 100 großen Stauseen sowie fast 2000 kleinen Rückhaltebecken und Wasserspeichern Einhalt geboten. Doch ließen Landwirtschaft, Industrie und nicht zuletzt die überall im Lande entstehenden neuen Wohngebiete den Verbrauch rasch ansteigen. Maßnahmen zur RWV, wie Furchen- oder Tröpfchenbewässerung in der Landwirtschaft oder die verstärkte Nutzung unterirdischer Reservoirs, rücken in den Vordergrund. Maßnahmen des Ministerrats verpflichten die Betriebe, mit geschlossenen Kreisläufen zu arbeiten, die eine Wiederaufbereitung und -verwendung des Brauchwassers vorsehen. Eigene Tiefbrunnen müssen angelegt und die Abwässer gründlich gereinigt werden. Einige hundert Wasserquellen wurden zusätzlich erschlossen und über 30 Anlagen zur Reinigung und Wiederverwendung von Abwasser errichtet. *ADN*

36 Schleusentore bei Nampho

In der KDVR, unweit der Industrie- und Hafenstadt Nampho, entsteht gegenwärtig ein 8 km langer Staudamm mit einem großzügig angelegten Schleusenprojekt. Der bisher von Ebbe und Flut beeinflußte Wasserstand des Tädonggang wird dadurch angehoben und der Fluß bis zu dem über 190 km entfernten Toktschon schiffbar. Die Anlage mit 36 Schleusentoren, von denen die größten Frachter bis zu 50000 t die Weiterfahrt ins Landesinnere ermöglichen, wurde im Oktober dieses Jahres im wesentlichen fertiggestellt. Dadurch entsteht ein zusätzliches Reservoir von 2,7 Milliarden m^3 Süßwasser, das für die Bewässerung von gleichzeitig gewonnenen 200000 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche sowie für Industrie und Trinkwasserversorgung verfügbar ist. Eine 98 Meter lange drehbare Brücke ermöglicht den Auto- und Eisenbahnverkehr über die Schleuse und damit auch über die Dammkrone.

Vom industriellen Aufschwung der KDVR zeugt der Damm ebenso wie die Kraftwerkskette von Sodusu, die vor kurzem an das einheitliche Verbundnetz der Republik angeschlossen wurde. Das für koreanische Maßstäbe enorme Objekt mit vier angeschlossenen Kraftwerken liefert eine Gesamtleistung von 500 MW. Alle Abschnitte der Kraftwerkskette werden vollautomatisch vom zentralen Steuerpult des Kraftwerks Nr. 2 aus gesteuert, dessen Maschinensaal sich unterhalb einer 250 Meter hohen Bergkuppe befindet.

Sowjetische Fachleute helfen bei der Montage und Inbetriebnahme der Anlagen und stehen den Beschäftigten der Betriebsteile dann weiterhin zur Seite. Ein immer größeres Ausmaß erreicht dabei auch der Austausch auf wissenschaftlich-technischem Gebiet.

ADN

Grundlagen der hydraulischen Kanalisationsnetzberechnung

Dr.-Ing. Ute WIDIGER; Dipl.-Ing. Falko KAHLE, KDT
Beitrag aus dem VEB Kombinat Wassertechnik und Projektierung Wasserwirtschaft

Die Verlagerung der Schwerpunkte des Wohnungsbaues auf innerstädtische Standorte hat Rekonstruktions- und Sanierungsmaßnahmen an den Ver- und Entsorgungsnetzen und -anlagen zur Folge. Diese Maßnahmen können nicht ohne Berücksichtigung der gesamten Ver- und Entsorgungskonzeption der Stadt projektiert und verwirklicht werden. Dabei sollte grundsätzlich auch eine Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Gesamtsysteme angestrebt werden. Besondere Bedeutung kommt hierbei den Kanalisationsnetzen zu, da diese im allgemeinen als Gefälleleitungen gebaut wurden und eine ungenügende Beachtung der Anforderungen des Gesamtsystems bei Rekonstruktionsmaßnahmen zu erheblichen Störungen bei der Abwasserableitung führen kann. Diese Überlegungen führten im VEB Projektierung Wasserwirtschaft zu der Entscheidung, ein EDV-Programm zur Durchführung der hydraulischen Kanalisationsnetzberechnung zu erarbeiten, das vorrangig zur Nachrechnung vorhandener, z. T. überlasteter Kanalisationsnetze und der an ihnen durchzuführenden Rekonstruktions- und Sanierungsmaßnahmen geeignet sein sollte.

Die Problematik der hydraulischen Kanalisationsnetzberechnung gliedert sich in drei Teilprobleme, wobei jeweils zeitlich und örtlich variable Vorgänge und ihre Wirkungen auf das Kanalisationsnetz zu untersuchen sind:

1. Ermittlung der für das zu entwässernde Gebiet typischen Regenereignisse, Festlegung des Berechnungsregens
2. Untersuchung der Abflußbildungsvorgänge auf der Gebietsoberfläche, Ermittlung der Abflußspende in das Kanalisationsnetz
3. Berechnung des Abflußvorganges im Kanalisationsnetz.

Von *Reinhold* (1940), *Hörler* und *Rhein* (1962) stammen Auswertemethoden für Regenschreiberaufzeichnungen, die in Form von Regenspendelinien einen Zusammenhang zwischen der Regenspende *r*, der Regenhäufigkeit *n* und der Regendauer *T* liefern. Die Regenspendelinien und der mit ihnen ermittelte Blockregen (ein Regen konstanter Intensität über die Regendauer *T*) sind die Grundlagen für die konventionellen Verfahren zur Berechnung von Kanalisationsnetzen.

Mit der Entwicklung von EDV-Programmen zur Simulation der Abflußvorgänge in Kanalisationssystemen wird neuerdings immer häufiger mit zeitlich ungleichmäßig verteilten Berechnungsregen gearbeitet, es kann sich hierbei um Naturregen oder um sogenannte Modellregen handeln. Modellregen werden auf der Grundlage der Regenspendelinien und/oder anderer Auswertungen von Regenschreiberaufzeichnungen konstruiert und enthalten im allgemeinen die gleichen Bestimmungsmerkmale wie der Blockregen. /4, 5, 6, 7, 8/

Pecher und *Althaus* /6/ schlagen auf Grund von Regenauswertungen der Stadt Düsseldorf drei Typen von Modellregen vor:

Typ 1 Hauptregen – Nachregen,
Typ 2 Vorregen – Hauptregen – Nachregen,
Typ 3 Vorregen – Hauptregen.

Für jeden Regentyp wurden von ihnen sechs Modellregen zwischen 15 min und 80 min Regendauer erarbeitet.
Für die Berechnung von Kanalisationsnetzen mit integrierten Sonderbauwerken (Regenbecken aller Art, Regenüberläufe, Staukanäle) sind mehrere Modellregen zu benutzen.
Rechnet man mit Naturregen, so ist die Abflußsimulation mit einer breiten Palette effektiv gefallener Regen durchzuführen. In jedem Fall muß bei der Wahl des Berechnungsregens das Ziel der Berechnung (Untersuchung des Speichervermögens des Netzes, Reaktion auf kurzzeitige extreme Überlastung, Auslegung von Pumpwerken usw.) beachtet werden.

Als zweites Problem ist der Zusammenhang zwischen Regen und Abfluß in das Kanalisationsnetz zu ermitteln. Das Verhältnis dieser beiden Mengen zueinander richtet sich nach der Oberflächenbeschaffenheit des Einzugsgebietes (Anteil und Art der befestigten Flächen, deren Neigung usw.).

In konventionellen Berechnungsverfahren wird mit dem Spitzenabflußbeiwert ψs gearbeitet. ψs ist für die Einzugsgebiete der einzelnen Haltungen unterschiedlich.
In neuen Veröffentlichungen werden Modelle zur Simulation des Oberflächenabflusses vorgestellt. /9, 11/
Eingangsgrößen solcher Oberflächenabflußmodelle sind die Ganglinien des Berechnungsregens, Ausgangsgrößen sind die Ganglinien des Abflusses in das Kanalisationsnetz, ermittelt für jede Haltung. Die Ansätze für die Berechnung der Abflußverluste auf der Oberfläche und für die Berechnung der Strömungsvorgänge auf der Oberfläche sind dabei sehr unterschiedlich. /2, 11/

Das dritte Problem ist die Berechnung der Abflußvorgänge im Kanalisationsnetz, also die Überlagerung der Oberflächenabflüsse zum Gesamtabfluß und die Änderung der zeitlichen Verteilung längs des Fließweges. Um den Anforderungen an ein Berechnungsverfahren gerecht zu werden, das die stets wechselnden Fließverhältnisse im Kanalisationsnetz beachtet, wurden neue Berechnungsmethoden entwickelt, deren Grundlage das Differentialgleichungssystem von *Saint-Venant* ist.

Diese Methoden werden als hydrodynamische Methoden bezeichnet. /11/ Sie liefern als Ergebnis Durchflußganglinien *V(t)* und Wassertiefenganglinien *h(t)* an beliebigen Punkten im Kanalisationsnetz.
Da die Differentialgleichungen von *Saint-Venant* nicht geschlossen zu lösen sind, werden im allgemeinen Differenzenverfahren zur Lösung benutzt.
Zur Vereinfachung der Berechnung werden mitunter einige Anteile der Bewegungsgleichung vernachlässigt. Das dritte Teilproblem ist das theoretisch am besten gelöste Problem im Komplex der Berechnung von Kanalisationsnetzen. /11/

Programmbeschreibung

Theoretische Grundlagen

Mit dem von uns entwickelten EDV-Programm kann das instationäre Abflußgeschehen in einem vermaschten unter Rückstau stehenden Kanalisationsnetz berechnet werden; Regenüberläufe, Regenbecken im Haupt- und Nebenschluß, Kanalstauräume und Pumpwerke können in die Berechnung integriert werden. Als Berechnungsregen können mehrere Regenganglinien vorgegeben werden, die dann bestimmten Einzugsgebieten zugeordnet werden und somit eine zeit- und ortsvariable Belastungsvorgabe möglich machen. An der Bereitstellung von Modellregen für verschiedene Gebiete der DDR wird gearbeitet.
Die Berechnung des Oberflächenabflusses wird z. Z. in sehr einfacher Form realisiert. Über die Abflußprozentmethode wird von jedem Regenintervall ein bestimmter Prozentsatz als Verlust abgezogen. Dieser Prozentsatz kann für jede Haltung vorgegeben werden und richtet sich nach dem Anteil befestigter Flächen an der Gesamteinzugsfläche der Haltung. Der Prozeß der Veränderung der Effektivregenganglinie infolge der Strömungsvorgänge auf der Gebietsoberfläche wird gegenwärtig von unserem EDV-Programm nicht berechnet. Ein Oberflächenabflußmodell im eigentlichen Sinn existiert also noch nicht. Obwohl außerordentlich wichtig, ist der Oberflächenabfluß mathematisch am schwierigsten zu erfassen, die Abstraktion gegenüber dem natürlichen Vorgang ist besonders groß. Auch unterliegt dieser Vorgang im Laufe der Stadtentwicklung den größten Veränderungen.

Die Berechnung des Abflusses im Kanalisationsnetz geschieht auf der Grundlage der Differentialgleichung von *Saint-Vernant*:

$$\frac{\delta \dot{V}}{\delta x} + \frac{\delta A}{\delta t} = \dot{V}' \quad \text{Kontinuitätsgleichung (1)}$$

$$\frac{\delta H}{\delta x} + \frac{1}{g}\left(\frac{\delta v}{\delta t} + v\frac{\delta v}{\delta x}\right) = -le$$

Bewegungsgleichung (2)

t – Zeit } unabhängige Variable
x – Ort
A – durchströmte Querschnittsfläche
$\dot{V}$ – Volumenstrom
$\dot{V}'$ – Quellintensität
v – Fließgeschwindigkeit
H – Wasserstand über einem Bezugshorizont
le – Energieliniengefälle.

Bei der Erarbeitung dieses EDV-Programms wurde die von *Luckner* /3/ für Grabensysteme entwickelte Modellkonzeption benutzt. In dieser Modellkonzeption wird neben der lokalen Beschleunigung $\left(\frac{\delta v}{\delta t}\right)$ auch die konvektive Beschleunigung $\left(v\frac{\delta v}{\delta x}\right)$ in der Bewegungsgleichung vernachlässigt, so daß die Berechnungsweise nach *Verworn* /11/ mit vereinfacht instationär, gleichförmig zu bezeichnen ist. Mit dem von Manning-Strickler entwickelten empirischen Ansatz für

$$le = \frac{v^2}{M^2 \cdot R^{4/3}} \quad (3)$$

M – Geschwindigkeitsbeiwert nach *Manning-Strickler*
R – hydraulischer Radius
und mit o. g. Vereinfachung ergibt sich folgender Zusammenhang:

$$\frac{\delta H}{\delta x} = \frac{v|v|}{M^2 \cdot R^{4/3}} \quad (4)$$

Mit $\dot{V} = v \cdot A$ und nach der örtlichen Diskretisierung mit einem Strang als dem örtlichen Diskretisierungselement (Bild 1) ergibt sich:

$$\dot{V}_{i,j} = \overline{M}_{i,j} \cdot \overline{R}_{i,j}^{2/3} \cdot \overline{A}_{i,j} \cdot \sqrt{\frac{H_j - H_i}{L_{i,j}}} \quad (5)$$

i,j – Knotennummern der den Strang flankierenden Knoten
$\dot{V}_{i,j}$ – Strangdurchfluß
$\overline{R}_{i,j}$ – hydraulischer Radius
$\overline{A}_{i,j}$ – durchströmte Fläche
$L_{i,j}$ – Stranglänge
H_i, H_j – Wasserstände an den Knoten.

Die Querstriche bedeuten Mittelwerte für einen Strang.
Aus (5) folgt mit

$$LE_{i,j} = \frac{\overline{M}_{i,j} \cdot \overline{R}_{i,j}^{2/3} \cdot \overline{A}_{i,j}}{\sqrt{L_{i,j}|H_j - H_i|}} \quad (6)$$

$$\dot{V}_{i,j} = LE_{i,j}(H_j - H_i) \quad (7)$$

Luckner nennt LE die hydraulische Leitfähigkeit des Stranges zwischen den Knoten i und j.

Bei der geschilderten Vorgehensweise sind einige Sonderfälle zu beachten (Bild 2). Die Kontinuitätsgleichung liefert nach der Ortsdiskretisierung für den Knoten i folgende Bilanzgleichung:

$$\sum_j \dot{V}_{i,j} + \dot{V}_{k,i} - B_i \frac{\delta H_i}{\delta t} = 0 \quad (8)$$

j – Nachbarknoten des Knoten i
$\dot{V}_{i,j}$ – dem Knoten i über die Nachbarstränge zufließende Wassermengen (vorzeichenbehaftet)
$\dot{V}_{k,i}$ – Summe der Zuflüsse zum Knoten über den Schacht (Schmutz-, Regen-, Fremdwasser)
B_i – dem Knoten i zugeordnete freie Wasserspiegelfläche
$\frac{\delta H_i}{\delta t}$ – zeitliche Wasserstandsänderung am Knoten i.

Nach der Zeitdiskretisierung erhält man bei Substitution der Gl. (7) in Gl. (8) für jeden Zeitschritt und für jeden p-ten Iterationsschritt die Bilanzgleichung für alle Knoten i in folgender Form:

$$\sum_j LE_{i,j}^{t,p-1}(H_j^{t,p} - H_i^{t,p}) + \dot{V}_{k,i}^{t,p-1} - B_i^{t,p-1}\frac{H_i^{t,p} - H_i^{t-\Delta t}}{\Delta t} = 0 \,. \quad (9)$$

Durch Nachschleifen der Parameter über die Iterationsschritte p entsteht ein lineares Gleichungssystem mit schwach besetzter Koeffizientenmatrix, das mit einem speziell für solche Gleichungssysteme entwickelten Lösungsverfahren /10/ für jeden Iterationsschritt direkt gelöst wird. Der Iterationsprozeß wird abgebrochen, wenn die Differenz der Ergebnisse zweier aufeinander folgender Iterationsschritte kleiner als eine vorgegebene Größe ε

$$|H_i^{t,p} - H_i^{t,p-1}| < \varepsilon \quad (10)$$

für alle Knoten i ist.
Somit sind die Wasserstände H zum Zeitpunkt t für alle Knoten bekannt. Darauf aufbauend wird das System der Bilanzgleichungen (9) für den folgenden Zeitschritt gelöst.

Die Zeitschrittweise Δt ist variabel und wird vom Programm in Abhängigkeit von den Zuflüssen zu den Knoten auf Grund von vorgegebenen maximalen und minimalen Knotenwasserstandsänderungen selbständig ermittelt. Die über Sonderbauwerke zu- oder abfließenden Wassermengen werden mit den für den Iterationsschritt $p - 1$ ermittelten Knotenwasserständen berechnet und über die Größe $\dot{V}_{k,i}^{t,p-1}$ in die Bilanzgleichung integriert.

Dateneingabe, Ergebnisausgabe

Die breite Anwendung eines EDV-Programms in der Projektierungspraxis hängt weitgehend davon ab, wie nutzerfreundlich das Programm bezüglich der Eingabedaten und der Ergebnisausgabe gestaltet ist, welche Möglichkeiten der Datenkorrektur und der Variantenberechnungen bestehen, wie das Problem der Standardannahmen und der global gültigen Daten und damit das Problem der Minimierung der Eingabedatenmenge gelöst ist.

Die Datenerfassung erfolgt in diesem Fall über Datenformblätter, die den 80spaltigen Lochkarten als maschinenlesbare Datenträger nachgestaltet sind. Der Inhalt der Datenformblätter ist nach Problemkomplexen geordnet, um eine erste manuelle Vorprüfung der Daten zu erleichtern.

Zur Zeit existieren sieben Datenformblätter:
– Allgemeine Angaben:
Beschreibender Text, Angaben über die Netzgröße, globale Eingabendaten, Programm- und Drucksteuerkarten
– Knotenkennwerte:
Beschreibung der Schächte
– Strangkennwerte:
Anschlußknoten, Einbindehöhen, Beschreibung der Einzugsfläche des Stranges, Schmutzwasser, Abflußbeiwert, zugeordnete Regenganglinie
– Überfallkennwerte:
Einordnung der Regenüberlaufbauwerke, Bauwerksgeometrie
– Regenganglinien:
Vorgabe einer oder mehrerer Regenganglinien in Form von Treppenkurven der Regenintensität als Funktion der Zeit, Zeitintervall frei wählbar
–Randbedingungen $\dot{V}(H)$ bzw. $\dot{V}(t)$:
Angabe von Zu- bzw. Abflußganglinien an bestimmten Knoten, z. B. zur Simulierung von vorher berechneten Netzteilen
– Pumpwerkskennwerte:
Einordnung der Pumpwerke, Beschreibung der eingebauten Pumpen (Schnecken- oder/ und Kreiselpumpen, maximal acht je Pumpwerk).

Der Grundsatz bei der Dateneingabe ist, mit Standardannahmen und globalen Daten die Schreibarbeit zu reduzieren, falls die Daten nicht sehr detailliert vorliegen (z. B. Abflußbeiwerte, Schmutzwasseranfall, Geschwindigkeitsbeiwerte). Sind jedoch differenzierte Daten vorhanden, so ist auch eine differenzierte

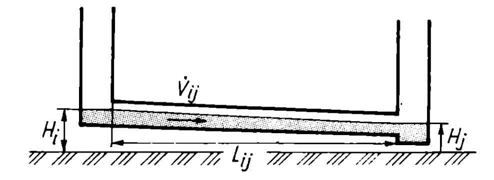


Bild 1
Strang als örtliches Diskretisierungselement

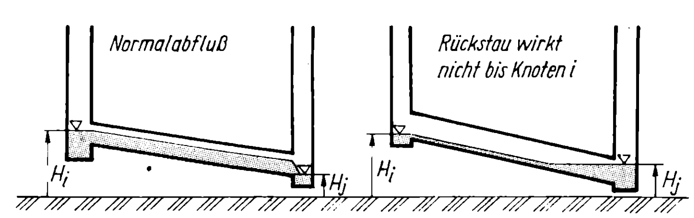


Bild 2
Sonderfälle bei der Abflußberechnung

Dateneingabe möglich. Alle Daten werden einer Plausibilitätskontrolle unterzogen, so daß die aufwendige hydraulische Berechnung mit einem Datensatz durchgeführt wird, der weitgehend fehlerfrei ist. Zur Gewährleistung der Prüfbarkeit der elektronischen Berechnung werden sämtliche Eingabedaten (ergänzt durch Standardwerte und globale Daten) entsprechend der Struktur der Eingabeformblätter in Listenform ausgedruckt.

Die Ergebnisse der Berechnung werden in drei Komplexen geliefert:

– Kontrolldruck

über den Ablauf der Berechnung. Für jeden *x*-ten Zeitschritt (*x* frei wählbar über Formblatt 1) werden die berechneten Knotenwasserstände und alle davon abgeleiteten hydraulischen Größen für das gesamte Netz gedruckt.

– Druck von Listen

mit den im Laufe der Berechnung ermittelten Maximalwerten für Knotenwasserstände, Strangdurchflußmengen, Geschwindigkeiten, Strangwassertiefen, Vergleich mit zulässigen Werten

– Graphische Darstellung von Ganglinien (für ausgewählte Knoten werden Ganglinien der Knotenwasserstände, für ausgewählte Stränge werden Ganglinien der Durchflußmengen, der Geschwindigkeiten und der Strangwassertiefen dargestellt; für alle Überfallbauwerke Ganglinien der Zulauf-, Ablauf- und Überfallmengen sowie der Wasserstände des Ober- und des Unterwassers; für alle Pumpwerke Ganglinien der gepumpten Wassermengen und des Wasserstandes im Pumpensumpf).

Schlußbemerkungen

Mit dem vorgestellten EDV-Programm zur hydraulischen Kanalisationsnetzberechnung besteht die Möglichkeit, das Abflußgeschehen wirklichkeitsnah zu berechnen. Durch wiederholte Nachrechnungen mit wechselnden Belastungen wird es möglich, das hydraulische Verhalten eines Kanalisationsnetzes zu beurteilen und somit eine qualifizierte Grundlage für die Entscheidungsfindung bei geplanten Rekonstruktionsvorhaben der Städte zu schaffen. Durch Nachrechnungen der geplanten Rekonstruktionsmaßnahmen läßt sich die Gestaltung des Netzes optimieren. Fehldispositionen werden vermieden, und die Wahrscheinlichkeit, daß das Netz bei unterschiedlichsten Belastungen funktionssicher ist, wird erhöht.

Literatur

/1/ *Bosold, H.*: Regenschreiberaufzeichnung als Grundlage zur Dimensionierung von Regenwasserableitungsanlagen. In: Wasserwirtschaft – Wassertechnik. – Berlin **25** (1975) 5

/2/ *Kaufmann, P.*: Theorie des Spitzenabflußbeiwertes. In: Gas–Wasser–Abwasser **63** (1983) 11

/3/ *Luckner, L.*: Konzeption zur digitalen Simulation der Strömungsvorgänge in Gerinnenetzen. In: Wasserwirtschaft – Wassertechnik. – Berlin **27** (1977) 3

/4/ *Munz, W.*: Gedanken zum Bemessungsregen für Abflußmodelle. In: Gas–Wasser–Abwasser **63** (1983) 11

/5/ *Neumann, W.; Rothmeier F.*: Modellregen zur Kanalnetzbemessung – Kenntnisstand und Empfehlungen. In: gwf–wasser/abwasser, 122 (1981) 9

/6/ *Pecher, R.; Althaus, I.*: Modellregen zur Bemessung von Kanalnetzen. In: Korrespondenz Abwasser, **26** (1979) 4

/7/ *Sieker, F.*: Bemessungsregen für Kanalquerschnitte. In: gwf–wasser/abwasser 124 (1983) 8

/8/ *Sifalda, V.*: Entwicklung eines Berechnungsregens für die Bemessung von Kanalnetzen. In: gwf–wasser/abwasser 114 (1973) 9

/9/ *Warg, G.; Kubat, G.*: Elektronische Berechnung von Kanalnetzen, gezeigt am Beispiel Basel. In: Schweizerische Bauzeitung, **87** (1969) 47

/10/ *Widiger, A.*: Routinen zur Hüllenlösung linearer Gleichungssysteme. MLU Halle-Wittenberg, Sektion Mathematik, Preprint Nr. 68, 1982

/11/ *Verworn, W.*: Hydrodynamische Kanalnetzberechnung und die Auswirkungen von Vereinfachungen der Berechnungsgleichungen. Mitteilungen Heft 47, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und Landwirtschaftlichen Wasserbau der Universität Hannover, 1980

Ausschreibung

Das Präsidium der Kammer der Technik ruft auf zu einem Ideenwettbewerb für neue elektronische und elektrische Konsumgüter!

Wer hat die beste(n) Idee(n)?

- Haushaltgeräte
- Unterhaltungselektronik
- Produkte für Freizeit, Sport und Hobby
- Autozubehör
- Spielwaren

Ideen sind gefragt, um

- neue und höhere Gebrauchseigenschaften zu sichern,
- durch moderne Technologien den Produktionsverbrauch zu senken,
- Qualität, Funktionssicherheit und Lebensdauer zu erhöhen,
- Produkte kleiner, leichter, formschön, gut handhabbar und servicefreundlicher zu gestalten.

Jeder kann teilnehmen!

Ideen werden insbesondere erwartet von Facharbeitern, Meistern, Ingenieuren, Wissenschaftlern, Absolventen und Schülern.

1. Preis: 10 000 Mark
2. Preis: 5 000 Mark
3. Preis: 3 000 Mark

Sonderpreise für junge Hoch- und Fachschulkader, Neuerer, Facharbeiter und Schüler. Senden Sie Ihre Ideen und Vorschläge ab sofort bis zum 15. März 1986 unter dem Kennwort „Konsumgüter-Wettbewerb“ über den Vorstand Ihrer Betriebssektion der KDT oder direkt an das Präsidium der Kammer der Technik! Auskünfte erteilt der Vorstand Ihrer Betriebssektion oder der Bezirksverband der KDT.

Der Präsident

Probleme und Technik der Entnahme repräsentativer Wasserproben aus dem Grundwasser

Dr.-Ing. Gerd SCHREIBER, KDT; Dr.-Ing. Günther MÜLLER, KDT; Dr.-Ing. Lienhard HERRMANN, KDT
Beitrag aus dem Institut für Wasserwirtschaft

Für die stabile Versorgung der Bevölkerung mit Trinkwasser und der Industrie mit hochwertigem Brauchwasser gewinnen Menge und Beschaffenheit der unterirdischen Wasserressourcen ständig an Bedeutung.
Bekanntlich stellt die Entnahme repräsentativer Wasserproben aus Grundwasserbeobachtungsrohren (GWBR) einen Schwerpunkt bei der regionalen und lokalen Grundwasserbeschaffenheitsüberwachung dar, so daß im folgenden vor allem der Gewinnung von Wasserproben aus GWBR Aufmerksamkeit geschenkt werden soll.

Methodik der Grundwasserprobenahme

Sollen aus GWBR repräsentative Wasserproben entnommen werden, müssen alle durch die Entnahme verursachten Einflußfaktoren, die zu Beschaffenheitsänderungen führen können. vermieden bzw. minimiert werden. Besonders sind dabei die hydrogeologischen Bedingungen sowie Zustand und Ausbau der Meßstelle, die verwendete Entnahmetechnik und Methodik sowie die weitere Behandlung der entnommenen Wasserproben (Konservierung, Analysenmethode usw.) zu beachten.
Das in den GWBR enthaltene und in der Regel schon längere Zeit stagnierende Wasser unterscheidet sich in seiner Beschaffenheit signifikant vom Grundwasser. In TGL 35818 wird deshalb gefordert, dieses Wasser vor jeder Probenahme mindestens einmal durch Abpumpen auszutauschen. Entsprechende Untersuchungen haben gezeigt, daß dies in den meisten Fällen nicht ausreicht. Als Beispiel dazu wird die Änderung der Nitratkonzentration während eines Abpumpversuchs in Bild 1 gezeigt. Von verschiedenen Betrieben und Einrichtungen der Wasserwirtschaft wurden durch Versuche die notwendigen Abpumpmengen ermittelt. Diese liegen in Abhängigkeit von den spezifischen Bedingungen und den untersuchten Inhaltstoffen zwischen dem 5- und 120fachen Volumen des sich im GWBR befindenden Wassers. Daraus resultierend muß festgestellt werden, daß derzeit eine eindeutige Fixierung der erforderlichen Abpumpmenge nicht möglich ist.
Die Vielfalt der zu berücksichtigenden Einflußfaktoren macht eine kontinuierliche Überwachung eines oder mehrerer Leitparameter während des Abpumpens erforderlich. Dafür sollten ionensensitive Sonden benutzt werden. Als Leitparameter sollte vor allem die elektrische Leitfähigkeit des Wassers genutzt werden. Durch die enge Korrelation zu wichtigen Kriterien (Abdampfrückstand, Gesamtionenkonzentration usw.) ist nach Erreichen konstanter Werte die Entnahme einer repräsentativen Wasserprobe möglich.
Leitfähigkeitssonden sind robust gebaut und für den Praxiseinsatz geeignet. Das vom VEB Hydrogeologie entwickelte und in geringer Stückzahl produzierte Leitfähigkeitsmeßgerät Hy40T koppelt die Leitfähigkeitsmessung mit einer Temperaturmessung. Sie entspricht den Anforderungen der wasserwirtschaftlichen Praxis hinsichtlich Meßgenauigkeit, Wartungsaufwand und Einsatzkriterien.
Die Probe selbst muß dann bei Konstanz des Leitparameters gewöhnlich mit einem speziellen Entnahmegerät gezogen werden, da die zum Abpumpen verwendete leistungsfähige Technik im allgemeinen zu Beschaffenheitsänderungen des abgepumpten Wassers führt.
Die Entnahme repräsentativer Wasserproben aus GWBR mittels geeigneter Technik ohne vorheriges Abpumpen ist nur möglich, wenn

– der Filterbereich auf Grund einer horizontalen Grundwasserbewegung so stark durchströmt wird, daß eine Beschaffenheitsbeeinflussung durch das Rohr- und Ausbaumaterial bzw. durch Gasaustausch vernachlässigt werden kann,
– eine vertikale Wasserbewegung innerhalb des Rohres oder des Kiesfilters ausgeschlossen werden kann und
– die Garantie der Probeentnahme in Höhe des durchströmten Filterbereiches besteht.

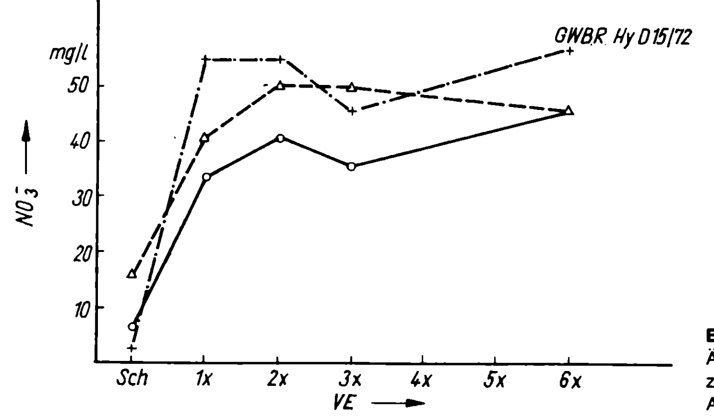


Bild 1
Änderung der Nitratkonzentration während eines Abpumpversuches

Ein entsprechender Nachweis ist prinzipiell durch bohrlochphysikalische Messungen (Kaliber, spezifischer elektrischer Widerstand, Gamma, Gamma-Gamma, Flowmeter) zu führen. Es ist in diesem Zusammenhang jedoch noch zu klären, in welchen zeitlichen Abständen diese Bohrlochuntersuchungen in Abhängigkeit von Veränderungen im Strömungsregime und der Alterung des GWBR zu wiederholen sind.
Für die Wasserprobe selbst, die aus ihrem natürlichen Milieu entnommen wurde, ändern sich physikalische Bedingungen, die verschiedene Beschaffenheitsparameter beeinflussen können. Dies trifft vor allem auf die Druckverhältnisse zu, die den Gashaushalt und die von ihm abhängigen Kenngrößen (Fe^{2+}/Fe^{3+}, Mn^{2+}, Ca^{2+}, H^+, OH^-, NH_4^+, Gase, flüchtige organische Stoffe, leicht oxydierbare organische Stoffe) beeinflussen. Unabhängig von der Entnahmetechnik wird die unter Druck stehende Wasserprobe nach der Förderung dem natürlichen Luftdruck ausgesetzt. Die dadurch unvermeidliche Beschaffenheitsänderung kann nur durch möglichst rasche Analyse bzw. chemische Fixierung der zu untersuchenden Inhaltstoffe eliminiert werden.

Technik zur Grundwasserprobenahme

Für die Entnahme von Wasserproben aus GWBR bzw. für deren Abpumpen vor der Probenahme steht eine Reihe von Geräten zur Verfügung (Bild 2).
Für den Einsatz in der wasserwirtschaftlichen Praxis werden in der Regel mobile Entnahmetechniken benötigt, an die folgende Anforderungen gestellt werden:

– Gewicht und Abmessungen von Entnahme-/Abpumpgerät und entsprechender Geräte zur Energieversorgung müssen einen Transport mit PKW und den Einsatz in GWBR einer Nennweite ≥ 50 mm ermöglichen,
– das Betreiben der Gerätesysteme muß mit maximal zwei AK realisierbar sein und
– die benötigte Energie muß mit den mitgeführten Aggregaten erzeugt werden können bzw. muß in Flaschen mitgeführte Druckluft ein sachgemäßes Abpumpen sowie die Probenahme gewährleisten.

Dominierenden Einfluß auf die Beschaffenheit kann die zur Probenahme verwendete Technik selbst haben (Tafel 1). Untersuchungen zur Wirkung der einzelnen Einflußgrößen wurden in den vergangenen Jahren vor allem im Rahmen der Forschungsgemeinschaft „Grundwasser“ des IfW Berlin und der TU Dresden durchgeführt. Es konnte nachgewiesen werden, daß vor allem auf die Probe wirkender Unterdruck deren Beschaffenheit signifikant beeinflussen kann. Damit wird die Wahl der Abpump- und Entnahmetechnik nicht nur von ihren Leistungsparametern (För-

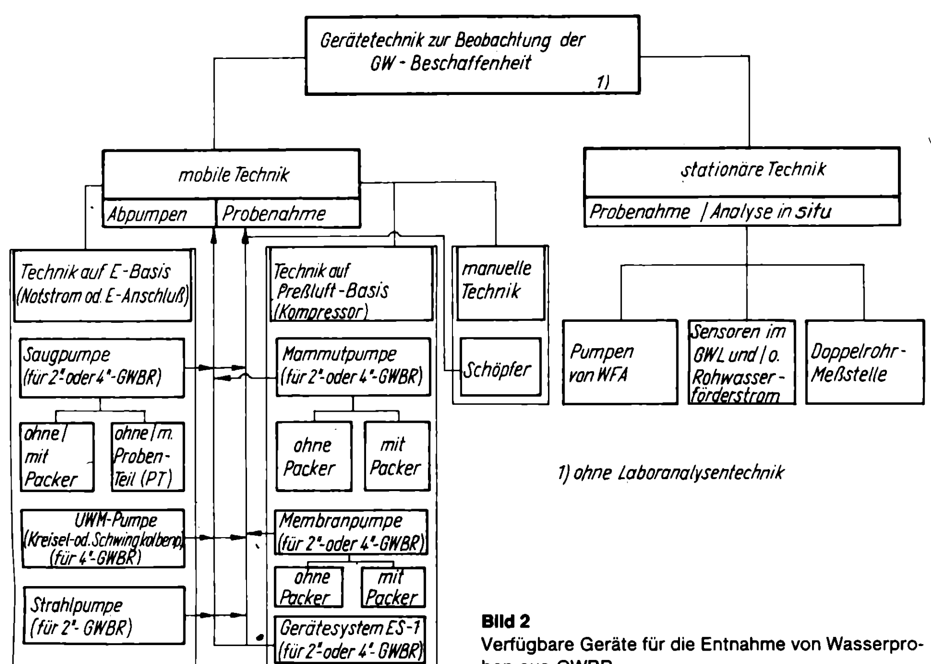


Bild 2
Verfügbare Geräte für die Entnahme von Wasserproben aus GWBR

dermenge, Förderhöhe, notwendige Überstauhöhe usw.), sondern auch wesentlich von den zu untersuchenden Beschaffenheitskriterien beeinflußt.

Mammutpumpen

Von verschiedenen Betrieben werden Mammutpumpen, die nach dem Lufthebeprinzip arbeiten, zum Abpumpen und zur Probenahme aus GWBR eingesetzt. Ihre Robustheit und Unempfindlichkeit gegenüber im Förderstrom befindlichen festen Stoffteilchen läßt ihren Einsatz für alle praktischen Aufgaben zu, einschließlich eines effektiven Abpumpens vor der Probenahme. Einschränkungen entstehen aus der notwendigen Überstauhöhe über dem Pumpenkopf, die etwa der Förderhöhe entsprechen muß, bzw. dann, wenn vom Gashaushalt abhängige Beschaffenheitsparameter bestimmt werden sollen, da der direkte Lufteintrag zu signifikanten Parameteränderungen führt.

UWM-Pumpen

Unterwassermotorpumpen eignen sich auf Grund ihrer Leistungsfähigkeit für das vor der Probenahme notwendige Abpumpen und mit Einschränkungen auch für die GW-Probenahme. Gegenwärtig sind national und international nur UWM-Pumpen für die Entnahme aus GWBR mit Nennweiten ≥ 100 mm im Handel.

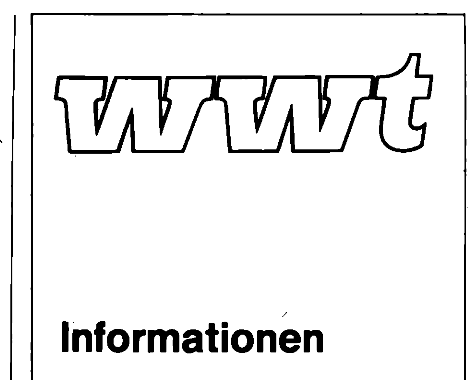
Strahlpumpen

Speziell für die in der Mehrzahl vorhandenen 50-mm-GWBR mit Grundwasserspiegellagen > 7 m unter Geländeoberkante wurde durch die TU Dresden, Sektion Wasserwesen, mit dem VEB IMO Merseburg eine Strahlpumpe (Tiefensauger) entwickelt, die den Anforderungen der wasserwirtschaftlichen Betriebe genügt. Im Gegensatz zur Mammutpumpe ist eine der Förderhöhe entsprechende Eintauchtiefe nicht erforderlich. Die gegenwärtige maximale Förderhöhe der Strahlpumpe wird mit 30 m angegeben.

(Über Neu- und Weiterentwicklungen von Membranpumpen, Schöpfgeräten, Rohrpakkern und einer GW-Spezialmeßstelle berichten wir im nächsten Heft.)

	Unterdruck während Förderung	Verwirbelung und Unterdruck durch Laufräder	Eintrag elektromagnetischer Felder	Ionenaustauschvorgänge in der Membran	Eintrag von Luft, direkt	Eintrag von O_2 über Grenzflächen	starke Druckschwankungen
Kreiselpumpe, Entnahme saugseitig	×						
Kreiselpumpe, Entnahme druckseitig	×	×					×
UWM-Pumpen		×	×				
Membranpumpen							
Mammutpumpen					×		
Minifilter	×						
Minifilter, geschlossen						×	
Minifilter, geschlossen mit Membran				×		×	
Minifilter, geschlossen mit Interface						×	
Schöpfer, ohne Schutzgas						×	

Tafel 1: Einfluß der GW-Probenahmetechnik auf die Wasserbeschaffenheit



Einleitung von mechanisch gereinigtem kommunalem Abwasser in eine Grubenwasserreinigungsanlage

In der Gemeinde Boxberg im Bezirk Cottbus betreiben in weniger als einem Kilometer Entfernung voneinander der VEB WAB Cottbus eine kommunale Kläranlage und das Braunkohlenwerk Glückauf Knappenrode eine Grubenwasserreinigungsanlage. Die kommunale Anlage wurde in den 60er Jahren als Mechanik konzipiert und sah die ganztägige und ganzjährige landwirtschaftliche Verwertung des gereinigten Abwassers vor. Infolge eines unerwartet stark gestiegenen Abwasseranfalls ist es nicht mehr möglich, die entsprechend TGL 6466/01 (Dezember 1977) für eine Abwasserlandbehandlung geforderte Aufenthaltszeit des Abwassers von 90 min in der Mechanik sowie die biologischen Gütekriterien einzuhalten. Somit ist auch die schadlose landwirtschaftliche Verwertung des Abwassers über das gesamte Jahr perspektivisch nicht mehr gewährleistet. Eine Erweiterung der bestehenden Anlagen ist nicht möglich, da geeignete Nutzflächen in volkswirtschaftlich vertretbarer Entfernung nicht zur Verfügung stehen. Auch die Ableitung von lediglich mechanisch gereinigtem Abwasser in die Vorflut – den Schöps – ist als Lösung des Problems nicht zu akzeptieren. Die hohen Investitionskosten für den Bau einer zweiten und dritten Reinigungsstufe zwangen zur Suche nach neuen Lösungswegen.

Ein Jugendforscherkollektiv des VEB WAB Cottbus unter Leitung von Monika Schmidt bereitete in Zusammenarbeit mit dem Braunkohlenwerk Glückauf hierzu einen großtechnischen Versuch vor. Über eine fliegende Leitung wurde das in der kommunalen Kläranlage mechanisch gereinigte Abwasser zur weiteren Reinigung in die Grubenwasserreinigungsanlage geleitet. Als Versuchsergebnis läßt sich folgendes zusammenfassen:
Als Ablaufparameter der Grubenwasserreinigungsanlage in die Vorflut wurden gemessen:
*p*H-Wert 6,6 bis 7,5
$CSV_{Mn} \leq 10{,}0$ mg/l
abfiltrierbare Stoffe $\leq 20{,}0$ mg/l,
m-Wert 1,3 mVal/l,
Fe $\leq 4{,}0$ mg/l $BSB_5 \leq 10{,}0$ mg/l.
Inzwischen liegt ein entsprechender Wasserbilanzentscheid der Staatlichen Gewässeraufsicht der Oberflußmeisterei Cottbus, WWD Obere Elbe–Neiße, vor. Dieser hat die gemeinsame Nutzung der Grubenwasserreinigungsanlage gemäß § 13 Wassergesetz vom 2. Juli 1982 (GBl. I Nr. 26, S. 467) und § 18 Abs. 1 der 1. DVO zum Wassergesetz (GBl. I Nr. 26, S. 477) zum Inhalt. Das Vorhaben wird gemeinsam vom VEB WAB Cottbus und dem Braunkohlenwerk Glückauf vorbereitet und bis 1990 realisiert.
Die Maßnahme stellt eine echte territoriale Rationalisierung und einen wesentlichen Beitrag für den Schutz der Umwelt dar. Die Landwirtschaft wird von der ganztägigen und ganzjährigen Verwertung entlastet und kann das Abwasser perspektivisch (nach Bedarf) mit garantiert 1,5 h Aufenthaltszeit in der Mechanik abnehmen. Die Investitionskosteneinsparung errechnet sich mit 1,4 Mill. M.

Dipl.-Ing. *Jutta Wille*, KDT
VEB Wasserversorgung und Abwasserbehandlung Cottbus

Verfahren zur Oberflächenabflußmessung bei Beregnung

Dipl.-Geol. Manfred PFAFF
Beitrag aus dem Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg

Bei der Verregnung von Zusatzwassergaben auf landwirtschaftlicher Nutzfläche ist die gleichmäßige Wasserversorgung des Pflanzenbestandes ein wichtiges Qualitätskriterium der angewendeten Technologie. Umverteilung der verregneten Flüssigkeit durch Oberflächenabfluß führt neben Bodenerosion und Naßstellenbildung zu Disproportionen in der Wasserversorgung. Zum effektiven Betreiben der vorhandenen Beregnungstechnik und als Entscheidungshilfe bei Neukonstruktionen werden flächengebundene Kennwerte der Oberflächenabflußbildung gefordert. /1/

Oberflächenabfluß entsteht auf geneigten Flächen, wenn während der Beregnung das Aufnahmevermögen des Bodens (vertikale Infiltration) überschritten wird und die natürlichen Speichermöglichkeiten an der Bodenoberfläche erschöpft sind. Die Niederschlagsintensität, mit der ein Bodenelement beregnet wird, sollte bei der Beregnung mit der Wassertransportleistung im Bodenprofil harmonieren.

Für die praxisnahe Prognose und Simulation der Abflußbildung muß die Vielzahl der möglichen Einflußfaktoren des Infiltrationsprozesses auf wenige prozeßwirksame Parameter reduziert werden. /2, 3/ Neben einer theoretischen Prozeßanalyse ist die Prozeßbeobachtung unter den Einsatzbedingungen der Beregnung und deren exakte Quantifizierung Grundvoraussetzung für die geforderte Verallgemeinerung. Die zur Charakterisierung des Infiltrationsprozesses bei natürlichen Starkniederschlägen verwendeten Regeninfiltrometer /3...6/ können aus diesem Grunde hier nicht eingesetzt werden. Im folgenden wird ein Verfahren vorgestellt, mit dem die Oberflächenabflußbildung auf beregneten, landwirtschaftlich genutzten Flächen unter praxisnahen Bedingungen untersucht wird.

Lage und Kennwerte der Abflußparzellen

Im Untersuchungsgebiet, das durch die MMK dem Standortregionaltyp D 3a 1 zugeordnet wird, wurde eine rund 400 m² große Teilfläche ausgegrenzt. Das sogenannte Sandlehm-Versuchsfeld befindet sich im Bereich einer Lehmdurchragung. In Bild 1 ist die Lage der acht Meßparzellen mit jeweils 5 m² Fläche im Sandlehm-Versuchsfeld mit Angabe von relativer Höhe und Neigung dargestellt. Die Teilstücke konnten in ihrer Gesamtheit als Sandlehm-Parabraunerde (Calcic Luvisol) angesprochen werden.

Tafel 1 zeigt die stabilen bodenphysikalischen Kennwerte der einzelnen Horizonte. Auffällig ist die hohe Trockenrohdichte des Pflughorizontes. Am Beispiel des Sandlehm-Versuchsfeldes wird die prinzipielle Arbeitsweise mit dem Verfahren zur Oberflächenabflußmessung erläutert. Weiterhin werden erste Ergebnisse wiedergegeben.

Abflußmeßanlage

Abflußparzellen

Die acht Meßparzellen mit je 5 m² Fläche (1,25 m × 4 m) wurden auf dem Sandlehm-Versuchsfeld so angeordnet, daß ein Regner U64 alle Parzellen gleichzeitig beregnen kann. Seitliche Parzellenabgrenzungen aus verzinktem Blech verhindern den Austausch von Oberflächenwasser. Im Versuchsjahr waren die Parzellen mit einem dreijährigen Gras-Luzerne-Gemenge bewachsen.

Beregnungsanlage

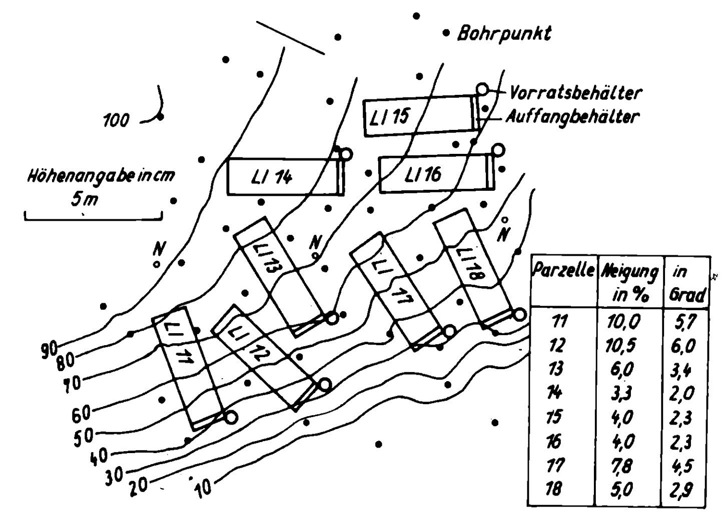
Die Wasserversorgung erfolgt aus dem Netz des Beregnungsbetriebes. Zur Gewährleistung gleichbleibender Beregnungsintensitäten für einen Versuch werden leichte Druckschwankungen durch ein Druckregelventil ausgeglichen. Größere Druckschwankungen werden durch Betätigen entsprechender Schieber reguliert. Über Feuerwehrarmaturen und -schläuche sind bis zu drei Regner anzuschließen. Entsprechend dem Beregnungsdruck, der Düsenwahl und der Anzahl der Regner sind Beregnungsintensitäten von 10 mm/h bis 65 mm/h einstellbar.

Registriereinrichtung

Die Niederschlagsmessung erfolgt mit Regenmessern (100 mm² Meßfläche) nach *Hellmann*, die auf den Bohrpunkt (Bild 1) unmittelbar über der Erdoberfläche aufgestellt sind. Durch stündliches Ablesen während des Versuchs und nach Interpolation der Meßwerte wird jeder Parzelle ein gemittelter Wert der Beregnungsintensität zugeordnet. Der Oberflächenabfluß sammelt sich am unteren Ende der Meßparzelle in einem Auffangbehälter. Von diesem wird er in den Vorratsbehälter (Fassungsvermögen 200 l) geleitet. Ein Pegelschreiber mit erhöhter Zeitauflösung zeichnet den Wasserstand und somit die Abflußmenge kontinuierlich auf. Zur Fernmeldung der wichtigen Prozeßparameter Sättigungszeit (Auftreten von Pfützen auf der Bodenoberfläche) und Abflußbeginn werden Geber auf der Bodenoberfläche und im Auffangbehälter angebracht.

Tafel 1 Stabile bodenphysikalische Kennwerte der Horizonte im Lehm-Versuchsfeld (Ergebnisse von 10 bis 42 Paralleluntersuchungen)

Merkmal	Ackerkrume	Tonhäutchen-Horizont	Carbonat-C-Horizont
Mächtigkeit in cm	26...28	4...55	70
Tongehalt in %	12...21	17...29	5...15
Trockenrohdichte in g/cm³	1,73 ± 0,08	1,72 ± 0,09	1,64 ± 0,12
gesättigte hydraulische Leitfähigkeit Kf m/d	1,25 ± 0,90	1,88 ± 0,69	0,59 ± 0,62
Sättigungsfeuchte in % (Vol.)	30,51 ± 2,4	29,8 ± 2,1	34,9 ± 1,8
wassergefüllter Porenanteil in %	87,8	84,9	91,9
Feuchteäquivalent nach TGL 31222/04 *FÄ* bei 25...30 kPa in % (Vol.)	17,6 ± 1,0	26,4 ± 3,5	21,5 ± 1,7



Parzelle	Neigung in %	in Grad
11	10,0	5,7
12	10,5	6,0
13	6,0	3,4
14	3,3	2,0
15	4,0	2,3
16	4,0	2,3
17	7,8	4,5
18	5,0	2,9

Bild 1 Lageskizze Lehmversuchsfeld

Versuchsdurchführung

Innerhalb einer Vegetationszeit wurden auf der Sandlehm-Versuchsfläche sieben Beregnungsversuche ausgeführt und 56 Meßwertsätze für Einzelversuche erstellt. Mit diesen Versuchen wird die Wirkung unterschiedlicher Regenintensitäten bei einheitlicher Bodennutzung und differenzierter Vorregenfeuchte auf die Kennwerte der Abflußbildung charakterisiert. Unmittelbar vor dem ersten Versuch wurden die Parzellen aus der Nutzung ausgegrenzt. Ihre Bewirtschaftung erfolgte im weiteren zu agrotechnisch günstigen Terminen. Die Abflußversuche wurden bei gemähtem Bewuchs ausgeführt. Unterschiedliche Bodenfeuchtewerte ergaben sich entsprechend der Witterung und vorangegangener Bewässerung. Bei jedem Beregnungsversuch wurde solange beregnet, bis auf der Einzelparzelle mit den geringsten Abflußanteilen eine Wassermenge von mindestens 5 mm/m² abgeflossen war. Für die Dauer eines Abflußversuchs wurde die Beregnungsintensität konstant gehalten.

Ergebnisse

Die verwendete Beregnungstechnik erzeugt ein inhomogenes Regenfeld. Beregnungsintensität und Regenmenge wiesen für eine Einzelparzelle Abweichungen zwischen 3% und 17% auf. Ihre zeitliche Variation lag unter den angegebenen örtlichen Abweichungen für eine Einzelparzelle. Zwischen den Einzelparzellen wurden während eines Beregnungsversuches Differenzen bis zu 32% festgestellt. Die unterschiedlichen Beregnungsintensitäten äußern sich in einem modifizierten Abflußverhalten der Teilstücke. In Tafel 2 sind die gemessenen Abflußanteile der Einzelparzellen des Abflußversuches 3 in Abhängigkeit von Beregnungsintensitäten und dem Tongehalt des *Ap* zusammengestellt. Die Vorregenfeuchte lag bei rund 90% nFK. Neben der Beregnungsintensität wirken sich hier die Texturdifferenzen zwischen den Einzelparzellen, ausgedrückt durch den Tongehalt, deutlich auf die gemessenen Abflußanteile aus. In Tafel 3 sind die Versuchsparameter der Abflußversuche 1 bis 7 auf den Abflußparzellen Li 12 und Li 13 nach der Beregnungsintensität geordnet. Die Zusatzwassergabe von 40 mm stellt eine Obergrenze für Gaben dar, die bei Anwendung der EDV-Beregnungsberatung ausgebracht werden.

Tafel 2 Abflußmenge in Abhängigkeit von Beregnungsintensität und Tongehalt des Ap

Parzelle	Ton in %	*NI*	*N*	*A*
14	13,0	14,9 ± 0,3	52,0	10,6
18	18,0	15,1 ± 1,8	53,0	12,5
13	14,0	15,1 ± 1,7	53,0	23,1
17	15,0	15,9 ± 0,4	56,0	19,1
16	21,0	15,9 ± 1,2	56,0	31,8
15	19,0	16,4 ± 0,6	57,0	28,5
12	11,0	17,9 ± 0,6	63,0	22,5
11	12,0	17,9 ± 0,6	63,0	24,2

NI = Beregnungsintensität in mm/h
N = Regenmenge in mm/m²
A = Abflußmenge in mm/m²

Bild 2 Einfluß der Niederschlagsintensität auf die Infiltrationsintensität

Tafel 3 Wichtige Abflußparameter beim Ausbringen von 40 mm Zusatzwasser

Datum	Versuch	BF in % *nFK*	*NI* in mm/h		N_{AB} in mm/m²		A_B in %	
			Li 12	Li 13	Li 12	Li 13	Li 12	Li 13
28. 5.	1	66	57,0	63,6	12,4	13,7	29	31
17. 9.	7	5	29,3	28,0	9,8	18,2	26	14
8. 7.	2	100	25,0	31,5	8,8	9,5	23	50
12. 8.	6	5	25,0	27,0	11,3	10,4	30+	–
30. 7.	5	44	19,2	20,0	18,8	24,7	20	28
10. 7.	3	90	17,0	15,1	4,8	4,8	42	33
24. 7.	4	12	12,6	13,2	35,3	37,2	3	4

NI = Beregnungsintensität in mm/h
A_B = Abflußanteil in %
N_{AB} = Niederschlagsmenge bis zum Abflußbeginn in mm/m²
BF = Bodenfeuchte in % der *nFK* für den *Ap* bei Beginn der Beregnung
+ = Abflußanteil bei 25 mm Niederschlag

Beim Versuch 6 erfolgte nach einer Stunde ein Intensitätswechsel, der Abflußanteil bezieht sich auf 25 mm Beregnungsmenge. Die Abflußmeßkurve der Parzelle Li 13 war bei Versuch 6 nicht auswertbar. Die Parzellen Li 12 und Li 13 liegen unmittelbar nebeneinander und die Korngrößenzusammensetzung der Ackerkrume ist hier fast identisch. Auf die Kennwerte Abflußanteil und Niederschlagsmenge bis zum Abflußbeginn wirken sich nachweislich modifizierend aus:

- unterschiedliche Beregnungsintensitäten
- differenzierte Vorfeuchtebedingungen (z. B. Versuch 3 und 4)
- Strukturvariationen zwischen den Parzellen
- Veränderung des Leitbahnensystems durch Verschlämmen (z. B. Versuch 2 und 3) und zusätzliche Bioporen (z. B. Versuch 7, Parzelle Li 13).

Die Abflußintensität ist stark von der Niederschlagsintensität abhängig. Aus den Differenzen von Beregnungsintensität und Abflußintensität wird die Infiltrationsintensität bestimmt. In Bild 2 wird der dominierende Einfluß der gewählten Beregnungsintensität auf die Infiltration des Beregnungswassers bei ähnlichen Ausgangsbedingungen sichtbar.

Diskussion

Das Verfahren ist an vorhandene Beregnungsanlagen gebunden, ermöglicht aber den direkten Einsatz der verschiedensten Drehstrahlregler. Die zwei Stufen der Regeninfiltration (Sättigungs- und Rückgangphase) werden den theoretischen Erkenntnissen entsprechend widergespiegelt. Als wichtigster Einflußfaktor auf die Abflußbildung wurde die Beregnungsintensität erkannt. Durch erhöhte Beregnungsintensitäten wird auch eine höhere Infiltrationsintensität in der Rückgangphase hervorgerufen. Über ähnliche Ergebnisse berichten *Peschke* und *Müller* /7/ 1976 von Wald- und Grünlandparzellen im Erzgebirge. Die Zuordnung der Beregnungsintensität zu den einzelnen Meßparzellen kann nur mit einer begrenzten Genauigkeit erfolgen. Abweichungen machen sich besonders bei der Steigerung der Beregnungsintensität bemerkbar. Dem kann durch eine Erhöhung der Niederschlagsmeßstellen begegnet werden. Stellt man als obere Grenze für eine Beregnungsgabe 40 mm/m² in Rechnung, so kann diese unter den dargestellten Bedingungen nur mit niedrigen Regenintensitäten um 14 mm/h und bei geringen Ausgangsbodenfeuchten verlustarm ausgebracht werden. Alle anderen getesteten Kombinationen führten spätestens nach dem Ausbringen von 25 mm Zusatzwasser zu Oberflächenabfluß, der bis zu 50% der eingesetzten Wassermenge erreichte. Obwohl – gestützt durch die umfangreichen bodenphysikalischen Untersuchungen – ein gleichförmiger Bereich des Untersuchungsgebietes mit gleichartiger Bewirtschaftung ausgegrenzt wurde, ergibt sich ein differenziertes Abflußverhalten zwischen den Parzellen und innerhalb der Vegetationsperiode. Auf eine detaillierte Ansprache der bodenphysikalischen Parameter und des Entwicklungsstandes der Vegetation kann deshalb nicht verzichtet werden.

Literatur

/1/ *Schinke, H.*: Die Infiltrationscharakteristik des Bodens als Grundlage der Dimensionierung und des Einsatzes in der Bewegung arbeitender Beregnungsmaschinen. In: Archiv Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde **25** (1981) 5

/2/ *Dyck, S.; et al.*: Wasserhaushalt der Flußgebiete. Berlin, VEB Verlag für Bauwesen 1978

/3/ *Siegert, K.*: Oberflächenabfluß von landwirtschaftlichen Nutzflächen infolge von Starkregen. Diss. TU Braunschweig 1978

/4/ *Brakensiek, P. L.; et al.*: Application of an infiltrometersystem for describing infiltration into soils. In: Transactions of the ASAE 22 (1979), S. 320 bis 333

/5/ *Krause, W.*: Zur Entwicklung eines Infiltrometers mit Regensimulation. In: Wasserwirtschaft – Wassertechnik **21** (1971) 7, S. 234 bis 237

/6/ *Toebes, C.; Ouryvaev, V.*, (Editor): Representative and experimental basis. UNESCO, 1970

/7/ *Peschke, G., Müller, A.*: Investigations on the infiltration Process and comparison of the results obtained with a mathematical model. Journal of hydrological Sciences vol 3, No 3–4, (1976), S. 105 bis 121

/8/ *Müller, G.*: Bodenkunde – Berlin, Deutscher Landwirtschaftsverlag 1980

/9/ *Beims, U.; et al.*: Beitrag zur Ermittlung von Parametern von Migrationsprozessen in der Boden und Grundwasserzone. – In: Wiss. Z. Techn. Univers. Dresden **31** (1982) 5, S. 211–217

Windwellen auf stehenden Gewässern – Bemerkungen zu Kommentar und Berechnungsgrundlagen des Standards TGL 28724 und des Werkstandards WAPRO 3.04

Dr.-Ing. Eberhard APEL
Beitrag aus dem Kombinat Wassertechnik und Projektierung Wasserwirtschaft

Das Problem der Windwellen und ihrer Einwirkungen auf Bauwerke, Wasserlinie und Seeboden ist bereits seit längerer Zeit Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen, wurde aber erst relativ spät in staatlichen Standards erfaßt.
Seit dem 1. Januar 1976 ist TGL 28724*„Windwellen auf stehenden Gewässern und industriellen Absetzanlagen, allgemeine Grundsätze" verbindlich. Der Standard wurde im Ergebnis des F/E-Themas „Wind und Wellen auf stehenden Gewässern" der damaligen Wasserwirtschaftsdirektion Werra-Oera-Unstrut Erfurt /1/, ausgearbeitet. Er hat im wesentlichen die Darstellung der erforderlichen Nachweise und Bemessungsaufgaben bei Wellen- und Windstauerscheinungen sowie Festlegungen und Empfehlungen für die Berechnung der erforderlichen Kennwerte zum Inhalt. Mehrfach wird dort auf die Schrift „Kommentar und Berechnungsverfahren zum Standard TGL 28724" verwiesen. Diese Ausarbeitung ist nunmehr nach Überwindung verschiedener Schwierigkeiten erschienen und über die Koordinierungsstelle für Standardisierung in der Wasserwirtschaft – KfS – zu beziehen. Da Redaktionsschluß und Erscheinungstermin zeitlich weit auseinanderliegen, war die Einfügung eines Ergänzungsblattes notwendig. Dieses enthält u. a. Hinweise auf den erweiterten Kenntnisstand.

Veranlassung für die Herausgabe des Kommentars

Noch während der Aufstellung des 1. Entwurfs des Standards TGL 28724 war geplant, diesen in neun Blättern erscheinen zu lassen.
Letztlich wurde jedoch entschieden, lediglich das Blatt 01 als Standard mit verbindlichem Charakter, den übrigen Teil in Form einer Druckschrift als komplexes Hilfsmittel zur Anwendung des Standards herauszugeben. Dabei war geplant, diese als Überbrückung bis zum Erscheinen des Fachbuchs „Technische Hydromechanik, Bd. 2", welches u. a. die gesamte Problematik der Windwellen behandeln wird, zu betrachten.
Die Gliederung der Arbeit unter dem nunmehrigen Titel „Kommentar und Berechnungsgrundlagen zum Standard TGL 28724" entspricht etwa derjenigen, wie sie im Standard selbst unter „Hinweise" angegeben ist.

Inhalt des Kommentars und Erläuterungen dazu

Der Umfang der Schrift beträgt 125 Seiten. Im Abschnitt 1 werden einführende Hinweise für den Benutzer gegeben. Der ursprüngliche Plan, dem Kommentar einen Abdruck des Standards selbst voranzustellen, konnte nicht verwirklicht werden. Dieses beeinträchtigt allerdings nicht die Nutzung der Schrift als Hilfsmittel.
Die im Abschnitt 2 vorgestellten grundlegenden Beziehungen aus der Wellentheorie betreffen die Theorie 1. Ordnung (*Airy*-Wellen). Weiterhin sind die Gleichungen für die Verhältnisse im Tiefwasser ($d > L/2$) und im Seichtwasser ($d < L/25$) angegeben. Eine Ausdehnung auf die Einzelwellentheorie, die onoidale Theorie sowie die Theorien höherer Ordnung wird in diesem Rahmen nicht für erforderlich gehalten. Neben den in Tabellenform angegebenen Beziehungen ist eine Grafik mit den Gültigkeitsgrenzen der Wellentheorien enthalten.
Zu den im **Abschnitt 3** behandelten Eingangsgrößen zur Bestimmung der Wellenkennwerte gehören

- die Windgeschwindigkeit nach Betrag und Richtung (W_{10})
- die Windwirkdauer t_E
- die Streichlänge S
- die Wassertiefe d.

Während die maßgebenden Größen der Streichlänge und Wassertiefe auf einfache Weise vom Projektanten selbst zu bestimmen sind, ist für die Kennwerte der Windgeschwindigkeit in jedem Falle ein Gutachten des zuständigen Amtes für Meteorologie heranzuziehen. Im Kommentar sind die Anforderungen, die an ein solches Gutachten zu stellen sind, wiedergegeben. Mit wachsendem Kenntnisstand wird sich hier eine Erweiterung der benötigten Angaben ergeben. Eine Schwierigkeit entsteht häufig für den Anwender bei der Übertragung der Windgeschwindigkeit (Betrag, Richtung, Dauer) von der meteorologischen Station auf das wasserwirtschaftliche Objekt. Darum ist im Gutachten die Aussage stets auf das letztere zu beziehen. Viele frühere Untersuchungen zum Einfluß der Windwirkdauer auf die Größe der Wellenelemente bei Binnenverhältnissen zeigten noch, daß jene für die Praxis ohne Belang sind, da die Dauer eines Windereignisses die Ausreifezeit übersteigt. /1, 4, 8/ Demzufolge wurde diesem Parameter bisher nur geringe Beachtung geschenkt. Neuere Forschungen lassen jedoch erkennen, daß hier eine Veränderung eintreten kann. /7/ Für Abschätzungen von Windgeschwindigkeiten durch Anwender sind auch Werte für normale windgeschützte und windexponierte Standorte angegeben, weiterhin Ergebnisse statistischer Untersuchungen der Organe des MD.

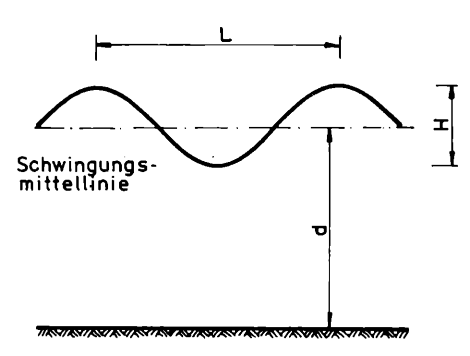


Bild 1 Wellenelemente

Im **Abschnitt 4** wird die Bestimmung der Wellenelemente beschrieben. Zugrunde gelegt ist dabei ein Verfahren in Anlehnung an die Methodik von *Krylov* und der von ihm angewandten Spektralmethode /4/. Mit Hilfe der im Kommentar angegebenen Diagramme ist es möglich, Wellenelemente wie *H, L, T,* (siehe Bild 1) von beliebiger Wahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von den genannten Eingangsgrößen (W_{10}, t_E, S, d) sowie der Gewässerform zu bestimmen. Das früher genutzte Verfahren von *Braslavskij* /9/ wird heute nicht mehr verwendet.
Wie jüngere Untersuchungen ergeben haben, werden hinsichtlich der Wellenkenngrößen neue Verfahren entwickelt, die andere Ergebnisse erwarten lassen. Im Vergleich dazu ordnen sich die nach der Methode von *Krylov* ermittelten Werte, besonders für kleine Streichlängen und hohe Windgeschwindigkeiten nach der sicheren Seite hin ein.
Die Frage des Wellenauflaufs sowie der ufer- und bauwerksnahen Wellenbewegung wird in *Abschnitt 5* auf der Basis der Untersuchungsergebnisse von *Wagner* /6/ behandelt. Beim Wellenauflauf selbst wird zwischen schwingendem und brandendem Wellencharakter unterschieden. Weiterhin werden Beziehungen für den Schwingungs- und Wellenstau angegeben. Für Binnenverhältnisse kann auf einen Nachweis des letzteren verzichtet werden.
Der **Abschnitt 6** beinhaltet das Problem des Windstaues. Dieser ist für praktische Fälle des Speicherbaues, sowie für Restlöcher oft von geringerer Bedeutung, was durch die im Standard TGL 28724 angegebenen Grenzwerte hervorgehoben wird. Diese Werte kennzeichnen den Bereich, für welchen der Nachweis der Größe des Windstaues generell entfallen kann. Andererseits können besonders bei flachen Gewässern großer Streichlänge und hohen Windgeschwindigkeiten auch Werte erreicht werden, die nicht mehr zu vernachlässigen sind. Um den Rechenaufwand zu verringern, wurden Zahlenwerte berechnet, siehe Bem. über Abschnitt 12. Grundlage für das Problem des Windstaues bildet das Verfahren von *Wagner* /5/, das auch durch eine große Anzahl von Naturbeobachtungen mit hohem Zuverlässigkeitsgrad bestätigt werden konnte /3/.

Der Wellendruck als Ergebnis der Wirkung von Windwellen auf Bauwerke wird im **Abschnitt 7** behandelt. Bei den Beziehungen zur Ermittlung der Wellenkräfte wird nach folgenden Gesichtspunkten unterschieden

- Bauwerksform (Wände, Böschungen, Pfähle, Pfahlgruppen)
- Bauwerksneigung (senkrecht, steil geneigt, flach geneigt, für letztere beiden sind zur Kennzeichnung Grenzwerte angegeben
- Wellencharakter (brandend, schwingend).

Das Problem der Pfähle wurde mit aufgenommen, da dieses besonders im Speicherbau von Bedeutung ist.

Die durchgeführten neueren Untersuchungen haben im brandenden Bereich z. T. größere Werte ergeben, als nach den vorliegenden Verfahren errechnet werden. Demzufolge wird auch in Abstimmung mit der ZTI die Einführung größerer Sicherheiten für zweckmäßig gehalten.

Der **Abschnitt 8** betrifft Probleme der Deformation von ungeschützten Ufern und Böschungen. Dazu wird ein geschlossenes System von Beziehungen zur Bestimmung der wesentlichen kennzeichnenden Größen der Böschungsdeformation vorgestellt. Diese Gleichungen entstanden im wesentlichen auf der Basis von Modellversuchen. /2/ Weiterhin wurden andere Experimente aus der Literatur mit hohem Zuverlässigkeitsgrad *(Popov, Swart, Johnsen)* sowie Ergebnisse von Naturbeobachtungen herangezogen. Begrenzt werden muß die Anwendung dieser Gleichungen auf Böschungen mit kohäsionslosen Erdstoffen bzw. einen bindigen Anteil von höchstens 20%. Wird dieser Wert überschritten, so können Aussagen nur über Gutachten, bzw. Analogiebetrachtungen anhand dokumentierter Erfahrungen gewonnen werden. Für überschlägliche Betrachtungen ist es möglich, vorhandene Erkenntnisse aus der Literatur zu verwenden. Allerdings sind diese vielfach mit Unsicherheiten behaftet, die leicht zu Fehlschlüssen führen können. Eine weitere Anwendungsgrenze ist das Verhältnis

$$H_{15\%}/D_{50} > 200$$

Der Versuch, den Bereich auch auf kleinere Werte auszudehnen, brachte keine befriedigenden Ergebnisse. Angegeben werden die Beziehungen für folgende Kenngrößen, siehe Bild 2:

- Ausgleichsneigung m_A
- Unterwasserausgleichsneigung m_R
- Strandneigung m_S
- Obere Grenze der Auskolkung a_1 /m/
- Tiefe der Welleneinwirkung a_2 /m/
- Wassertiefe über Riffkamm d_R /m/
- Abstand Riffkamm – Abbruchkante l_{BR} /m/
- Strandlänge l_S /m/.

Bei der Konstruktion des Gleichgewichtsprofiles ergibt sich bei vernachlässigbarer Suspension und fehlendem Längstransport Gleichheit zwischen Abrasions- und Akkumulationsprisma.

Zur Erweiterung des Kenntnisstandes sollten in jedem Falle Ergebnisse von Naturbeobachtungen dokumentiert werden, wobei die Sammlung von Eingangsgrößen für die Böschungsdeformation, wie Windgeschwindigkeit, Wellenelemente, Erdstoffkennwerte, von entscheidender Bedeutung ist, da nur auf diese Weise auch entsprechende Schlußfolgerungen gezogen werden können. Die alleinige Erfassung der Kenngrößen reicht also nicht aus.

Der **Abschnitt 9** hat nur Hinweischarakter, und zwar bezüglich der Anwendung des Werkstandards WAPRO 3.04./06, Böschungsbefestigungen.

Ein komplexes Rechenbeispiel für die Anwendung der vorher behandelten Fragen beinhaltet **Abschnitt 10**, während unter **Abschnitt 11** eine Zusammenstellung der Beziehungen sowie das Literaturverzeichnis enthalten sind.

Im **Abschnitt 12** sind eine Anzahl von Anlagen enthalten, die für die praktische Arbeit in vieler Hinsicht eine Erleichterung bedeuten.

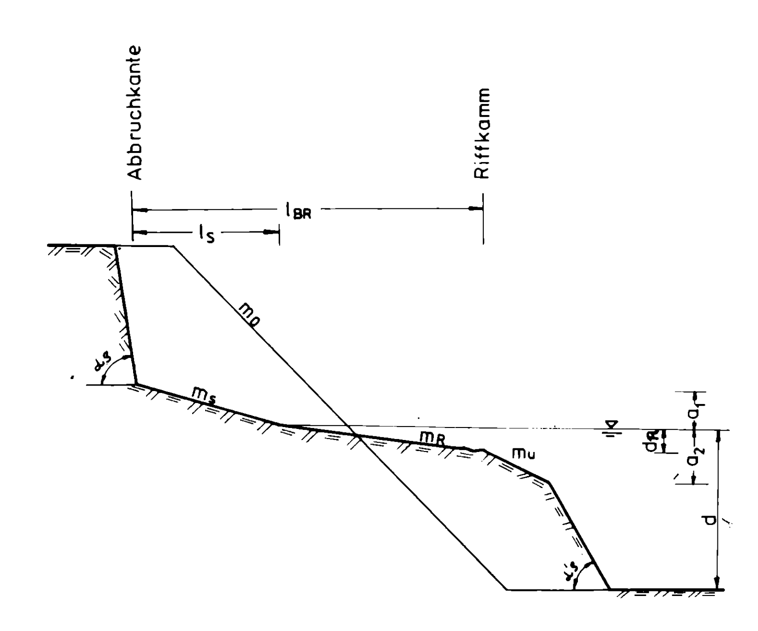


Bild 2 Kenngrößen

Werkstandard WAPRO 3.04., Lastannahmen im Wasserbau; Belastung durch Windwellen

Die ab 1967 erarbeiteten Werkstandards (WAPRO 3.04./01...06) sind inzwischen überarbeitet worden. In der heutigen Form stellen sie in mehrfacher Hinsicht eine Ergänzung des „Kommentars" dar.

Sie behandeln folgende Probleme

- *WAPRO 3.04./01* Lastannahmen im Wasserbau, Belastung durch Windwellen; allgemeine Grundsätze. Hier sind neben einer Darstellung und Erklärung der Bezeichnungen (Grundlage WAPRO 0.03) ein Bearbeitungsalgorithmus für die wichtigsten praktischen Fälle angegeben.
- *WAPRO 3.04/02* –; –; Wellenelemente. Auf eine Behandlung des zugrunde gelegten Verfahrens von *Krylov* wurde verzichtet, dafür sind hier im Vergleich zum Kommentar Tabellenwerte in erweiterter Form für die Kenngrößen der Windwellen enthalten.
- *WAPRO 3.04/03* –; –; Wellenauflauf. Dieses Blatt entspricht im wesentlichen dem Abschnitt 5 des Kommentars.
- *WAPRO 3.04/04* –; –; Windstau. Hier sind analog WAPRO 3.04/02 neben einer kurzen Einleitung nur Tabellenwerte angegeben.
- *WAPRO 3.04/05* –; –; Wellendruck. *WAPRO 3.04/07* –; –; Böschungsdeformation. Beide Blätter sind den Abschnitten 7 und 8 des „Kommentars" ähnlich, allerdings in der Darstellung etwas gestrafft.
- *WAPRO 3.04/06* –; –; Böschungsbefestigungen. Dieses Blatt wurde gegenüber der Ausgabe 12.71 lediglich redaktionell überarbeitet. Die vorhandenen Beispiele wurden herausgelöst und dem Blatt 08 zugeordnet.
- *WAPRO 3.04/08* –; –; Berechnungsbeispiel. Hier sind neben dem komplexen Beispiel analog zum Kommentar sowie den aus dem Blatt 06 entnommenen weitere zum Problem Wellendruck hinzugefügt, die sich nicht in das Komplexbeispiel einpassen ließen.

Abschließende Bemerkungen

Die hier vorgestellte Ausarbeitung dient als Hilfsmittel bei der Standardanwendung sowie als Ergänzung der dort fixierten Grundsätze und Forderungen. Sie bildet ein in sich geschlossenes System von Beziehungen zur Berechnung und den dadurch bedingten Erscheinungsformen auf stehenden Gewässern und industriellen Absetzanlagen. Stellungnahmen sowie im Rahmen persönlicher Gespräche und Konsultationen gegebene Hinweise konnten bei der Bearbeitung des Kommentars berücksichtigt werden. Allen Fachkollegen, die an dieser Schrift mitgewirkt bzw. dazu Anregungen gegeben haben, sei herzlich gedankt.

Die in der nächsten Zeit durchzuführenden Untersuchungen (einschließlich Naturbeobachtungen) sollten die Basis für eine eventuelle Überarbeitung des Kommentars bilden.

Literatur

/1/ *Apel, E.:* Wind und Wellen auf stehenden Gewässern. F/E-Thema der WWD Werra–Gera–Unstrut, Erfurt 1970 (unveröff.)

/2/ *Apel, E.; Bürger, W.; Wagner, H.:* Untersuchungen über die Umbildung ungeschützter Ufer bei Wellenangriff. In: Mitt. d. FAS, Heft 34, 1975

/3/ *Apel, E.; Krippendorf, H.; Wagner, H.:* Auswertung von Windstauerscheinungen an mecklenburgischen Seen. In: Wasserwirtschaft–Wassertechnik **30**/1980, H. 9

/4/ *Krylov, I. M.:* Novij metod rasoeta volnovogo rezima j ego ispol'zovanie v gidrotechniscom stroitelst've uzd – vo transport 8 uzd1 (trudy sojuzmornii projekta), 1969

/5/ *Wagner, H.:* Bestimmung der durch Wind erzeugten stationären Strömungs- und Staueerscheinungen in Seen und Meeren. Diss. TU Dresden, 1967

/6/ *Wagner, H.:* Bestimmung der Wellenauflaufhöhe bei Staudämmen. F/E-Thema, TU Dresden 1966 (unveröff.)

/7/ *Wagner, H.:* Vortrag zur Weiterbildungsveranstaltung TU Dresden 1983, 1984

/8/ ČSSR-Norm SCN 736500

/9/ Werkstandard des Kombinats Wassertechnik WAPRO 3.04, Ausgabe 1967/71

Hygienische Probleme der Reinigung städtischer Abwässer für die Industriewasserversorgung

AKULOV, K.; KOROLEV, A.; KOREU'KOV, V.; SLEPNINA, T.; MAKARENKO, Z.; SKACHOVA, I.

Städtische Abwässer könnten zu einer wichtigen Quelle für die Wasserversorgung von Industriebetrieben werden. Untersuchungen zu effektiven Technologien für die Reinigung dieser Abwässer und ihrer Nutzung in Wasserversorgungssystemen der chemischen Industrie wurden in mehreren Etappen durchgeführt.

Biologische Reinigung

Lediglich biologisch gereinigte Abwässer sind durch relativ hohe Kennwerte für BSB und CSV sowie durch hohe Schwebstoffgehalte gekennzeichnet (Tafel 1). Zu dem sind sie auf Grund organoleptischer Eigenschaften für Warmblüter toxisch und in epidemischer Hinsicht gefährlich. Die Entkeimung der biologisch gereinigten Abwässer durch erhöhte Chlordosen führte ihrerseits zur weiteren Verschlechterung der organoleptischen Eigenschaften des Wassers und zu einer Verstärkung seines Toxizitätsgrades.
Auch Veröffentlichungen anderer Autoren bestätigen, daß ausschließlich biologisch gereinigte Abwässer auf Grund der Hygieneforderungen in der Industriewasserversorgung nicht verwendet werden können.

Filterung

Voraussetzung für die Nutzung der Abwässer für Technologien mit offener Wasseroberfläche ist eine Verringerung des Gesamt-Salzgehalts, des Gehalts an Schwebstoffen, des CSV, des BSB sowie der Keimzahl. Mit gekörntem Filtermaterial und horizontaler Strömungsrichtung durchgeführte Experimente lieferten Gleichungen für die Ermittlung günstiger Filtrationsparameter. Im konkreten Fall betrugen diese:

Filtrationsgeschwindigkeit 12 m/h
Dicke der Filterschicht 700 mm
Dauer des Filterzyklus 23 h.

Allerdings weisen die Abwässer nach dem Filtrieren einen hohen Coli-Index auf, das heißt, sie sind unbedingt zu entkeimen. Untersucht wurde auch der mögliche Einfluß gefilterter und mittels Chlorung entkeimter Abwässer auf lebende Organismen (Kennwerte des peripheren Blutes, Aktivität von Blut- und Leberfermenten, Funktion des zentralen Nervensystems u. a.).
Nachweislich behielten die Abwässer auch nach der Chlorung ihre Toxizität und waren damit also lediglich in geschlossenen Systemen der Industriewasserversorgung verwendbar.

Aktivkohle, Ionenaustauscherharze

Um Möglichkeiten der Anwendung der Abwässer in Arbeitsgängen mit erhöhten Anforderungen an die Wasserqualität zu prüfen, wurden physikalisch-chemische Methoden zur tiefergehenden Nachreinigung angewendet. Das waren die Sorption an Aktivkohle oder Ionenaustauscherharzen (dynamische Austauschkapazität: 7 mg O_2/1 g Harz) mit anschließender Entkeimung durch Chlor bzw. Ozon. Ein sicherer Entkeimungseffekt (Coli-Index 100) wurde bei einem Restchlorgehalt von mindestens 0,5 mg/l und einer Kontaktzeit von 1 h erreicht. Das Wasser enthielt nach dieser Behandlung praktisch keine Schwebstoffe, es besaß gute organoleptische Kennwerte und war auch in epidemischer Hinsicht unbedenklich. Versuche an weißen Ratten dienten der Klärung der Frage, ob dieses Wasser bei längerer Einwirkung auf den Warmblüterorganismus toxisch wirken könnte. Für keinen der untersuchten Kennwerte konnten jedoch Abweichungen der Versuchsgruppe von den Tieren der Kontrollgruppe festgestellt werden.

Tafel 1 Dynamik der Kennwerte von biologisch gereinigten Abwässern bei ihrer Nachreinigung nach verschiedenen Verfahren (Mittelwerte aus 6 Bestimmungen)

Kennwert	biolog. gerein. Abwässer	*Filtrieren* vor dem Chloren	*Filtrieren* nach dem Chloren	Sorption an *Aktivkohle* vor dem Chloren	Sorption an *Aktivkohle* nach dem Chloren	Sorption an *Ionenaustauscherharzen*
Geruch, Punkte	4–5	4–5	5	1–2	2	1–2
Färbung, cm	5–8	10	5	10	10	10
Schwebstoffe, mg/l	24,6	8,6	8,1	0,1	0,1	ohne
BSB_5, mg O_2/l	16,5	6,6	7,0	5,2	4,8	4,6
CSV, mg O_2/l	58,6	31,2	28,3	22,0	20,2	29,6
Ammoniakstickstoff, mg/l	8,1	7,8	8,2	3,8	3,4	1,7
Nitrite, mg/l	12,3	12,0	10,8	0,95	0,80	0,63
Nitrate, mg/l	1,06	1,10	0,98	0,50	0,42	0,02
Chloride, mg/l	74,6	65,5	61,8	62,5	62,8	26,5
spezifische Bestandteile		In Höhe der zulässigen Höchstkonzentration			unter der zulässigen Höchstkonzentration	
Coli-Index	2380000	2380000	230	23800	9	9
Restchlor, mg/l	–	–	1,15	–	0,52	–

Anmerkung: Das Zeichen „–" bedeutet, daß keine Untersuchung durchgeführt wurde.

Tafel 2
Vergleichende Bewertung der Qualitätskennwerte der nachgereinigten städtischen Abwässer

Kennwert	empfohlenes Niveau	erreichtes Niveau
Geruch, Punkte	2	2
Färbung in einer Säule von 10 cm	ohne	ohne
Schwebstoffe, mg/l	1,5	0,1
BSB_5, mg O_2/l	3,0	5,2
CSV, mg O_2/l	25,0	30,5
spezifische Bestandteile	zulässige Höchstkonzentration	
Coli-Index	100	10

Erprobung und Anwendung

Gemeinsame Untersuchungen von Technologen und Hygienikern lieferten im Ergebnis eine Technologie zur tiefgehenden Reinigung von biologisch gereinigten Abwässern, die vertikale Filter, Adsorber sowie eine abschließende Desinfektion mit Chlor umfaßt. Mit dieser Technologie läßt sich Wasser gewinnen, das auch bei industriellen Verfahren mit offener Wasseroberfläche verwendet werden kann. Somit sind jetzt Hygieneempfehlungen verfügbar, die die Verwendung nachgereinigter Abwässer sowohl in geschlossenen als auch in offenen Systemen der Industriewasserversorgung betreffen.
Eine Variante der genannten Technologie (Leistung 20000 m^3/d) wurde in städtischen Abwasserreinigungsanlagen des Moskauer Gebiets eingeführt. Der Ersatz von artesischem Wasser mit Trinkwasserqualität durch tiefgehend gereinigte Abwässer bringt dem untersuchten Betrieb einen jährlichen Nutzen von 112000 Rubel.

Der hier stark gekürzt wiedergegebene Originalbeitrag erschien in der Zeitschrift *„Gigiena i sanitaria"* Moskau (1985) 2.



Bücher

Reihe „Grundlagen der Hydrogeologie". Nutzung und Schutz des Grundwassers

N. Marinov, A. Oradovskaa, E. Pinneker u. a.

Novosibirsk, Verlag „Nauka", 1983.

Lange erwartet, ist nunmehr ein Buch erschienen, das erstmals zwei eng miteinander verbundene komplizierte Probleme, nämlich Nutzung und Schutz des Grundwassers, behandelt.
Bei der Veröffentlichung handelt es sich um den abschließenden sechsten Band der großen Monographie „Grundlagen der Hydrogeologie". Besondere Aufmerksamkeit widmen die Autoren dem Grundwasser als Quelle der Brauch- und Trinkwasserversorgung. Grundwässer werden unter Berücksichtigung der Änderung des Salzgehaltes umfassend klassifiziert, Grenzwerte des Mineralisierungsgrades werden mit den regionalen hydrogeochemischen Gesetzmäßigkeiten und den konkreten praktischen Bedürfnissen verbunden. Die Normativ- und Vorschriftenliteratur einbeziehend, werden diejenigen grundlegenden Forderungen formuliert, die an die Güte von Brauch- und Trinkwasser in bezug auf die bakteriologischen, chemischen und organoleptischen Kennwerte zu stellen sind.
Systematisiert und verallgemeinert werden die qualitativen Kennwerte für die Nutzung des Grundwassers in der UdSSR und im Ausland dargestellt. Im Zusammenhang mit der Analyse in- und ausländischer Literatur und des umfangreichen Faktenmaterials führen die Verfasser des Buches jedoch leider keine Empfehlungen für die Wahl rationeller Anlagen für die Grundwasserfassungen an. Diese Empfehlungen würden zweifellos den praktischen Wert des Buches erhöhen. Ausführlich diskutiert finden sich verschiedene Aspekte des Schutzes des Grundwassers vor Verschmutzungen (Ausmaß, Quellen und Arten der Verschmutzung, Mechanismen, Geschwindigkeit und Grad der Ausbreitung von Schmutzstoffen in Grundwasserleitern, Abhängigkeiten vom geologisch-lithologischen Profil). Die Verfasser sind zu Recht der Ansicht, daß der Grundwasserschutz als Komplex zu sehen ist, der auf die Verhinderung der Verschmutzung, die Beseitigung ihrer Folgen und die Erhaltung und Verbesserung der Grundwassergüte abzielt. Größte Bedeutung kommt hierbei den vorbeugenden Maßnahmen zu, der geologischen Kontrolle beispielsweise, die unter Berücksichtigung des natürlichen Schutzes des für die Wasserversorgung geeigneten Grundwassers und der hydraulischen Verbindung der einzelnen Grundwasserleiter untereinander und mit dem Oberflächenwasser durchgeführt werden sollte. Weiterhin werden konkrete Maßnahmen zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung mit Hilfe von Sickerschutz, Dränage- und anderen Vorrichtungen erläutert. In überzeugender Weise lehrt das Buch, mit dem Grundwasser sparsam umzugehen. Charakteristische Beispiele machen deutlich, daß die Grundwasservorräte nicht unbegrenzt sind. Damit würde die komplexe Regulierung der Grundwasservorräte und des qualitativen Zustandes des Grundwassers zu einer dringlichen Forderung der Gegenwart.
Das Buch zeichnet sich durch straffe Gliederung und logische Verbindung der einzelnen Teile aus und ist gut illustriert. Es ist von wissenschaftlich-praktischem Interesse für den weiten Kreis von Fachleuten, die sich mit Fragen der Nutzung und des Schutzes des Grundwassers befassen.

Binnenverkehrswasserbau – Schiffshebewerke

Partenschky, H. W.
Springer-Verlag; Berlin (West), Heidelberg, New York, Tokyo 1984. 227 Seiten, 133 Abbildungen.

Binnenverkehrswasserbau

Kuhn, R.
Verlag Ernst & Sohn; Berlin (West) 1985. 427 Seiten, 382 Abbildungen.

Fast 30 Jahre nach dem Erscheinen des Werkes von *Press*, „Wasserstraßen und Häfen", wurden nunmehr etwa zum selben Zeitpunkt gleich zwei Werke übereinstimmenden Titels von namhaften Fachleuten aufgelegt. Unterschiedlich konzipiert, werden jedoch beide nebeneinander bestehend ihren Leser- bzw. Nutzerkreis finden.
Das einbändige Werk von *Kuhn* gibt einen zusammenfassenden Überblick über den derzeitigen Stand des Binnenverkehrswasserbaus. Nach dem Vorwort des Autors ist es „als Einführung in diesen Zweig des Wasserbaus gedacht, unter Beschränkung auf die wesentlichen Grundlagen". Das Werk von *Partenschky* ist in drei Bänden angelegt, von denen als erster der Band „Schiffshebewerke" erschien; „Schiffsschleusen" und „Binnenwasserstraßen" sind als weitere Titel vorgesehen.
Kuhn zeigt einleitend die Wechselwirkung von Binnenschiffahrt und Wasserstraßenbau auf. Es folgen wesentliche Grundlagen für die technische Gestaltung der Wasserstraßen (Flußausbau, Stauregelung von Flüssen, Kanäle, Deckwerk und Dichtung). Im umfangreichen Kapitel „Schleusen" wird eine Reihe von Teilgebieten behandelt, bei „Schiffshebewerken" wird auf gemeinsame Merkmale und Entwurfsgrundsätze hingewiesen. Für das Gebiet der Binnenhäfen werden Gestaltungsgrundsätze erläutert.
Ein Literaturverzeichnis (mehr als 600 Schrifttumsnachweise) rundet das Werk ab. Bemerkenswert erscheint, daß in großem Umfang Materialien des „Ständigen Internationalen Verbandes der Schiffahrtskongresse" (PIANC), der 1985 sein 100jähriges Bestehen begehen konnte, herangezogen wurden.
Prof. Kuhn, der an zahlreichen Bauwerksgestaltungen und umfangreichen Vorhaben des Verkehrswasserbaus und der Wasserkraftwirtschaft Anteil hat und besonders im Rahmen der PIANC in internationalen Fachgremien wirkt, hat damit internationale Entwicklungstendenzen überschaubar vermittelt. Für Studierende und Praktiker, die einen Gesamtüberblick benötigen, vermittelt das Buch das erforderliche Grundwissen in aktueller und komplexer Form. Planenden und projektierenden Ingenieuren mit Interesse an vertiefender Information ist das umfassende Literaturverzeichnis eine wertvolle Bibliographie des modernen Binnenverkehrswasserbaus und ein Wegweiser zu den Originalquellen.
Das durch *Partenschky* behandelte Teilgebiet „Schiffshebewerke" wird dem sich in neuerer Zeit verstärkenden Interesse an der Überwindung größerer Fallhöhen gerecht. Außerdem vermittelt er damit in gewisser Weise einen Brückenschlag zwischen den vorstehend erwähnten Anforderungsebenen. Eine didaktisch gelungene Darstellungsweise spiegelt die vielfältigen Berufs- und Lehrerfahrungen des Autors wider, wobei die klaren, teils thesenartigen Formulierungen hervorzuheben sind, die ein für Studierende und Praktiker gleichermaßen wertvolles Werk entstehen lassen. So werden nicht nur Konstruktionsprinzipien, sondern auch Bewegungsvorgänge erläutert, einschließlich der daraus resultierenden (für die Dimensionierung wichtigen) Kraftwirkungen sowohl auf Bauwerks- als auch Wassermassen. Gerade diese Darlegung hydrodynamischer Vorgänge in einem Buch des Wasserbaus ist didaktisch äußerst wertvoll, da sie die eigentliche Spezifik des Wasserbaus und das Bindeglied zwischen den funktionellen Anforderungen, wirkenden Kräften und bautechnischen Lösungen darstellt. Teils ausführliche Berechnungsansätze führen den Leser von den Grundlagen hin zum Erkennen komplexer Wirkungsmechanismen. Hervorzuheben ist ferner die in technischen Fachbüchern noch selten zu findende komplexe Bewertung der rein technischen, betriebstechnologischen und auch ökonomischen Aspekte als Grundlagen einer Variantenauswahl. Sie sind übersichtlich in Form von Tabellen und Graphiken dargestellt, in die auch Angaben über ausgeführte Bauwerke eingehen. Ebenso werden konstruktive Details am Beispiel ausgeführter Anlagen erläutert. Die konstruktiven und betriebstechnischen Unterschiede der verschiedenen Bauformen werden kritisch im Vergleich diskutiert und die Anwendungsgrenzen aufgezeigt.
Beide Verlage haben die Werke in ihrer schon traditionell sehr guten Ausstattung vorgelegt, die sich gerade für ein technisches Fachbuch nicht zuletzt in der gelungenen Wiedergabe der zahlreichen Zeichnungen ausdrückt.
Durch ihre unterschiedliche Anlage sowie auf Grund der differenzierten Nutzerbedürfnisse ergänzen sich beide Werke zumindest partiell. Beide sind als Standardwerke des modernen Binnenverkehrswasserbaus einzuordnen.

Dr.-Ing. G. Glazik

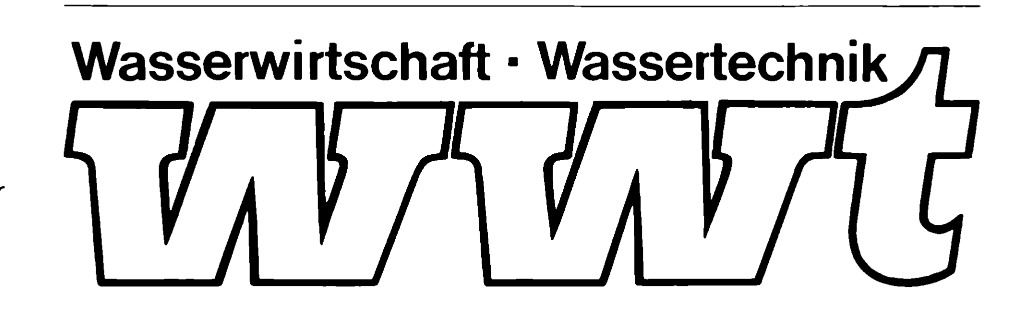
Jahresinhaltsverzeichnis 1985

Herausgeber: Ministerium für Umweltschutz und Wasserwirtschaft und Kammer der Technik (FV Wasser)

Verantwortliche Redakteurin: Helga Hammer

Jahrgang 1985
VEB Verlag für Bauwesen Berlin

Wasserwirtschaft · Wassertechnik



Sachverzeichnis (erste Ziffer = Heft-Nr., zweite Ziffer = Seitenzahl)

Ökonomie der Wasserwirtschaft – Leitung und Planung, Forschung und Entwicklung, Intensivierung, Rationalisierung, Standards, Rechtliches, Historisches

- Verjährungsregelungen zum Wassergesetz. Von *W. Schmidt* 1/24
- Erfahrungen und weitere Aufgaben junger Wasserwirtschaftler in der „FDJ-Initiative Berlin". Von *G. Hüttner* 2/26
- Zur ökonomischen Stimulierung der rationellen Nutzung der Wasserressourcen und zum Schutz der Gewässer in den Mitgliedsländern des RGW. Von *W. Schneider* 2/35
- Zur neuen Fassung des Standards TGL 23 989 „Unterirdisches Wasser; Terminologie, Formelzeichen und Einheiten. Von *G. Müller; Ch. Adam* 2/47
- Erfahrungen zur Ermittlung, Planung, Kontrolle und Abrechnung der Effektivität von wissenschaftlich-technischen Maßnahmen. Von *K.-D. Pusch* 3/59
- Möglichkeiten der einheitlichen Bewertung des Nutzens von Standardtechnologien. Von *G. Gottschalch* 3/61
- Zur Geschichte der Leipziger Wassermessung. Von *G. Grebenstein* 4/94
- Beispiellösungen der Automatisierung und Prozeßführung von wasserwirtschaftlichen Anlagen. Von *R. Wernecke* 6/124
- Grundlagen der ökonomischen Beurteilung von Maßnahmen der Wasserbereitstellung und -sanierung im Rahmen der Entwicklungsspannung. Von *H. Schweiger* 7/146
- Ökonomische Bewertung der Wasserressourcen. Von *E. G. Grigorjew* 7/149
- Die Erfordernisse der Standard-Arbeitsplatzkarte in der Forschung und Entwicklung. Von *W. Grunert* 7/156
- Windwellen auf stehenden Gewässern, Bemerkungen zu Kommentar und Berechnungsgrundlagen TGL 28 724 und WAPRO 3.04. Von *E. Apel* 8/189

Wasserversorgung – Wasserbedarf, Wassergewinnung, Wasseraufbereitung, Wasserverteilung, Wasserförderung, Wasserspeicherung

- Erfahrungen aus der Prozeßanalyse für die Trinkwasseraufbereitungsanlage der Stadt Sömmerda. Von *H. Dathe; H. Krätzschmar; M.-P. Schenk* 1/3
- Erfahrungen bei der volkswirtschaftlichen Nutzung von Tagebauwässern. Von *R. Hildebrand* 1/6
- Entwicklung des Wasserbedarfs der Bevölkerung bis zum Jahr 2010. Von *D. Goldbeck; B. Fieguth* 1/13
- Zu einigen aktuellen Fragen der Bereitschaftssicherheit bei der landwirtschaftlichen Bewässerung. Von *D. Lauterbach; M. Schramm* 1/18
- Effektivere Nutzung des verfügbaren Wasserdargebots in Talsperren und Speichern. Von *H. Heym* 1/21
- Schema der Wasserbilanz der DDR. Von *S. Dyck* 2/41
- Aktuelle Probleme der Grundwasserbeschaffenheit und der Bemessung von Trinkwasserschutz- und -vorbehaltgebieten. Von *L. Luckner* 4/74
- Stand und Entwicklungstendenzen bei der Anwendung von Infiltrations- und Uferfiltratanlagen. Von *H. Löffler* 4/78
- Erfahrungen beim Einsatz von Pflanzenbecken. Von *Ch. Scholze* 4/82
- Typenkatalog zur Pumpversuchsauswertung – ein Beitrag zur Rationalisierung der hydrogeologischen Erkundung. Von *U. Beims* 4/84
- Geophysikalische Meßverfahren und die Interpretation ihrer Ergebnisse bei der Untersuchung von Brunnen. Von *K.-N. Lux* 4/86
- Hydrogeologische Aspekte im Brunnenbau. Von *G. Dennhardt; D. Quast* 4/87
- Erfahrungen und Entwicklungstendenzen bei der Bewirtschaftung von Grundwasserfassungen. Von *W. Nestler* 4/88
- Zur Bewirtschaftung des Grundwasserspeichers Letzlinger Heide. Von *K. Tiemer; K.-H. Kaatz* 4/90
- Prognose der Fördermengen bei in Wechselwirkung stehenden Wasserfassungen. Von *P. Pentschev* 4/90
- Die Entwicklung von Technologie und Technik zur Wasserverlustanalyse. Von *H. Ernst; W. Rabe* 4/91
- Hydrauliche Berechnung von Wasserversorgungsnetzen mit Hilfe interaktiver Systeme. Von *H. Roscher* 5/115
- Tendenzen der Weiterentwicklung der Mehrschichtfiltration. Von *E. Böhler; P. Ott* 6/131
- Möglichkeiten zur Entscheidungsvorbereitung durch verstärkte Anwendung einer modellgestützten baulichen Wasserwirtschaft am Beispiel der Ostlausitz. Von *D. Peukert; L. Luckner; G. Kommol; G. Welsch* 6/133
- Prozeßführung in der Wasserverteilung. Von *M. Sturm; K. Wiegleb; J. Sagretz* 6/139

Abwasserbehandlung, Abwasserableitung, Abwasserreinigung, Abwasserbodenbehandlung, Schlammbehandlung, Wertstoffrückgewinnung

- Verminderte Abwasserlast durch Wertstoffrückgewinnung. Von *L. Eremit* 1/11
- Die landwirtschaftliche Verwertung von Molkereiabwässern. Von *L. Förster; R. Teichardt* 3/67
- Gemessene und berechnete BSB_5 – Abbauwerte in einer Fäkalienbehandlungsanlage. Von *S. Schwarz* 3/69
- Kompaktierung von Kläranlagen auf beengten Standorten. Von *U. Holesovsky; E. Pfeufer* 3/71
- Erfahrungen mit der Berechnung des Wirkungsgrades von Abwasserteichen. Von *D. Uhlmann; S. Schwarz* 5/104
- Rückgewinnung von Wertstoffen aus Gerbereiabwässern. Von *R. Ujj* 5/117
- Abwasserbehandlungsanlage für das Binnenfahrgastschiff Projekt 302 des VEB Elbewerften Boizenburg (Roßlau). Von *W. Schlöricke; C.-D. Voß* 5/118
- Bauaufwandsenkung durch Erhöhung der Maximalgeschwindigkeiten in Abwasserleitungen. Von *H. Bosold; W. Wachs; W. Röder* 6/142
- Ergebnisse und weitere Aufgaben des Erzeugnisgruppenleitbetriebes „Abwasserableitungsnetze". Von *P. Ullrich; B. Neumeister* 7/151

Schutz der Gewässer – Wasserbeschaffenheit, Gewässersanierung, Trinkwasserschutzgebiete, Wasserschadstoffe, Wasseranalysen

- Aktuelle Probleme der Grundwasserbeschaffenheit und der Bemessung von Trinkwasserschutz- und vorbehaltsgebieten. Von *L. Luckner* 4/74
- Zur Bewirtschaftung von Trinkwasserschutz- und -vorbehaltsgebieten. Von *D. Kramer* 4/76
- Zur Ausgrenzung von Trinkwasserschutzgebieten. Von *G. Müller* 4/77
- Enteisenung im Grundwasser. Von *D. Eichhorn* 4/83
- 8. Tagung der Expertengruppe zur Wasserschadstoffbekämpfung in der Ostsee. Von *Ricker/S. Schwarz* ..... 6/4. US
- Ökotechnische Verfahren im Wasserbau unter besonderer Berücksichtigung des Ufer- und Böschungsschutzes. Von *G. Weise; E. Niemann; J. Reifert; W. Jorga; W.-D. Heym* 7/153
- Neue Methoden und Geräte zur Wasserschadstoffbekämpfung. Von *R. Eiling* 7/157
- CSV-Bestimmung mit einer genauen und praktischen Mikromethode. Von *G. Martius; J. Hannes* 7/166

Rationelle Wasserverwendung-, bewirtschaftung, und -nutzung

- Geringer Wassereinsatz – effektivere Güllewirtschaft. Von *D. Schaube* 1/7
- Erfahrungen beim sparsamen Umgang mit Wasser. Von *W. Mörle-Heynisch* 1/8
- Spezifischer Wasserverbrauch erheblich gesenkt. Von *W. Großpietsch* 1/9
- Initiativen zur Erreichung des Ehrentitels „Wasserwirtschaftlich vorbildlich arbeitende Stadt". Von *M. Schröder* 1/10
- Ergebnisse der rationellen Wasserverwendung durch Einsatz wassersparender Ausrüstungen und Armaturen. Von *G. Engelhardt* 1/12
- Informationen und Empfehlungen zum rationellen Wassereinsatz für die landwirtschaftliche Bewässerung. Von *D. Kramer; R. Meißner* 2/39
- Zur Verbesserung der Leitungstätigkeit in Auswertung des 4. Se-

minars des Ministerrats zur rationellen Wasserverwendung. Von *G. Jacob* 3/65
- 13. Dresdener Informationsseminar vom November 1984. Von *Sawatzki* 6/136
- Maßnahmen der rationellen Wasserverwendung bei Sicherung bzw. Steigerung der Bauproduktion. Von *H. Neumann* 6/137
- Zur effektiven Nutzung und zum sparsamen Umgang mit Wasser. Von *J. Dietz* 6/138

Wasserbau – Flußbau, Wehre, Deiche, Speicher, Talsperren, Hochwasserschutzanlagen, Küstenschutz
- Walzbeton als Dichtung und Erosionsschutz im Wasserbau. Von *E. Lattermann; H.-J. Schuster* 1/15
- Bau von Polderschöpfwerken aus Stahlbetonfertigteilen. Von *U. Wilum* 1/17
- Die Aufgaben des Küstenschutzes. Von *B. Rosenlöcher* 2/32
- Rechnereinsatz zur Lösung der Aufgaben des technischen Küstenschutzes. Von *R. Wiemer; S. Schefter* 5/102
- Anwendung von Polysiloxanen zur Stauwandsanierung. Von *G. Helbig* 7/164
- Neue Verfahren zur Steuerung gefüllter Talsperren bei Hochwasser. Von *H. Heym* 8/170

Melioration – Bewässerung, Entwässerung, Beregnung, Gewässerinstandhaltung, Güllebehandlung
- Zu einigen aktuellen Fragen der Bereitstellungssicherheit bei der landwirtschaftlichen Bewässerung. Von *D. Lauterbach; M. Schramm* 1/18
- Informationen und Empfehlungen zum rationellen Wassereinsatz für die landwirtschaftliche Bewässerung. Von *D. Kramer; R. Meißner* 2/39
- Grundlagen und Verfahren zur Berechnung von Entwässerungsnetzen. Von *H. Bosold; A. Richter* 3/62
- WWT-Informationen: Pilotanlage zur Unterflurbewässerung 3/56
- Verfahren zur Oberflächenabflußmessung bei Beregnung. Von *M. Pfaff* 8/187

Maschinen und Ausrüstungen – Rohrleitungen, Pumpen, Armaturen, Behälter, Korrosionsschutz, MSR-Technik
- WWT-Informationen Erprobung von Chlordosieranlagen Typ ADVANCE. Von *H. Wingrich* 4/98
- Zylindrische Behälter mit optimalen Geometrieparametern. Von *E. Hampe; S. Kühn* 2/42
- Wasser-Wasser-Wärmepumpe in der Trinkwasseraufbereitungsanlage Wienrode. Von *H. Elsner; F. Fabich; H. Schmidt* 5/112
- Korrosionsschutz in sehr feuchten Betriebsräumen. Von *M. Condereit; H.-W. Pohlmann* 7/159
- Vorbereitung und Betrieb von UNEIS-Anlagen. Von *U. Hartmann; H. Wingrich* 7/161
- Drehzahlregelung von Förderpumpen in der Wasserversorgung. Von *M. Blechschmidt* 8/172
- Drehzahlregelung in Pumpwerken am Beispiel eines Reinwasserpumpwerkes. Von *H. Wittig* 8/175
- Bemerkungen zur knotenorientierten Rohrnetzberechnung. Von *D. Ludewig* 8/179
- Grundlagen der hydraulischen Kanalisationsnetzberechnung. Von *U. Widiger; F. Kahle* 8/182
- Problem der Entnahme repräsentativer Wasserproben aus dem Grundwasser. Von *G. Schreiber; G. Müller; L. Herrmann* 8/185

Wasserbewirtschaftung – Modelle, mathematische und kybernetische Verfahren, EDV
- Hydrologie und Wasserbewirtschaftung – künftige Anforderungen. Von *S. Dyck* 3/54
- Zur Nutzung des Datenbankteils Wasserversorgungsnetze beim Reproduktionsprozeß von Transport- und Verteilungsanlagen der Wasserversorgung. Von *K.-H. Schweiger; P. Michalik; J. Ahrens* 3/57
- Der Analysenautomat ADM 300 mit mikrorechnergesteuerter Auswerteeinheit AE 2-2. Von *A. Müller; H. Eulenberg; W. Koppräsch* 5/98
- Zur Fehlerabschätzung bei der Durchflußmessung an Oberflächengewässern mittels eines akustischen Strömungsmessers. Von *J. Gätke* 5/100
- Rechnereinsatz zur Lösung der Aufgaben des technischen Küstenschutzes. Von *R. Wiemer; S. Schefter* 5/102
- Analyse des Strömungs- und Stofftransportszenariums für ein Oberflächengewässersysstem des generalisierten Programmpakets GRABEN & GRAPH. Von *H. Baumert; D. Frotscher; E. Glos; H. Schmidt* 5/106
- Mathematische Modellierung von Schadstoffwellen in Fließgewässern. Von *A. Nejedly* 5/109

- Erfahrungen des VEB WAB Neubrandenburg bei der Instandhaltung von MSR- und E-Anlagen. Von *J. Franetzki* 6/128

Wasserwirtschaftliches aus dem Ausland, Internationale Zusammenarbeit
- WWT-Informationen: NOVEX TLS 1055 – ein neuartiger Mehrkanal-Laminar-Schnellseparator (UVR) 1/4. US
  Vorschlag zur teilweisen Rückgewinnung des Abwassers in Wohnhäusern (VR Polen) 1/4. US
  Zur Sauberhaltung der Ostsee (UdSSR) 2/45
  Öl- und Fettabscheider für die fischverarbeitende Industrie entwikkelt (Japan) 3/56
  Abwasserreinigung (UdSSR) 3/61
  Elektronik warnt vor Überschwemmung (Dänemark) 3/61
  Gegenwärtiger Stand der Abwasserbehandlung in Japan 3/64
  „Algenfilter" reinigen kommunale Abwasser und retten Seen (Schweden) 3/66
  Erfahrungen mit der Anwendung der potenziometrischen Methode zur Bestimmung des Fluor- und Nitratgehalts bei der Kontrolle der Wasserqualität (UdSSR) 4/96
  Schwerpunkte der Wasserpolitik in Österreich 4/96
  Neue Technik für die Abwasserreinigung in der ČSSR 4/4. US
  Ingenieurbiologische Systeme zum Schutz von Gewässern gegen Verschmutzung (UdSSR) 6/144
- Zur ökonomischen Stimulierung der rationellen Nutzung der Wasserressourcen und zum Schutz der Gewässer in den Mitgliedsländern des RGW. Von *W. Schneider* 2/35
- Wasser – eine kostbare Gabe der Natur. Von *N. F. Wassiljew* 3/50
- Von der ersten Stunde an brüderlich verbunden. Beispiele der Zusammenarbeit DDR–UdSSR 3/52
- Verträge – Abkommen – Vereinbarungen DDR–UdSSR 3/53
- Kontroll- und Informationssystem der Wasserversorgung für den Kreis Teplice. Von *M. Trnej* 6/126
- Ökonomische Bewertung der Wasserressourcen. Von *E. G. Grigorjew* 7/149
- Der hydroenergetische Komplex „Eisernes Tor" an der Donau. Von *J. Knüpfel* 7/168

Tagungen, Ausstellungen, Neuerungen
- 14. Informationstagung der Erzeugnisgruppe „Plastanwendung und Korrosionsschutz in der Wasserwirtschaft" vom März 1984 1/3. US
- Junge Wissenschaftler auf der 27. ZMMM. Von *B. Lidzba* 2/27
- Vorgestellte Neuerungen auf der 27. ZMMM 2/28
- Wissenschaftliche Tagung über die „Effektivität des Wissenschaftlich-technischen Fortschritts in der Wasserwirtschaft". Von *W. Schneider* 2/46
- WWT-Lizenzangebote:
  - Enzymatische Schlammstabilisierung 2/3. US
  - Sanierung von Wasserversorgungsanlagen durch Auspressen mit Zementmörtel 2/3. US
  - Vorhersage- und Steuermodelle zur Bewirtschaftung von Grund- und Oberflächenwasser 2/3. US
- Dichtungen und Deckwerke aus Zementbeton 2/34
- Verfahren zur Verhinderung der Brunnenverockerung durch Gammastrahlung 3/4. US
- Erfolgreiche Messebilanz 4/4. US
- Wissenschaftliche Studentenkonferenz zum Thema Rationelle Wassernutzung im Oberen Elbtal an der Technischen Universität Dresden 5/3. US
- 13. Dresdener Informationsseminar vom November 1984 6/136
- 8. Tagung der Expertengruppe zur Wasserschadstoffbekämpfung in der Ostsee 6/4. US
- Bericht Festveranstaltung zum „Tag der Werktätigen der Wasserwirtschaft" in Gera am 15. Juni 1985 6/122
- Optimierung des Sauerstoffeintrags 6/4. US

Arbeit der KDT
- WWT-Arbeit der KDT 2/46
- WWT-Arbeit der KDT 4/74
- KDT-Empfehlungen
  - Einsatz von Spannbetondruckrohren nach TGL 33510/01 5/105
  - Filtrationsverfahren in der Wasseraufbereitung 5/105
  - Empfehlungen zum weiteren Einsatz bituminierter Stahlrohre für Wasserleitungen 5/105
  - Eisfreihaltung von Stahlwasserbauten 5/105
- Ausschreibung der KDT für einen Ideenwettbewerb für neue elektrische und elektronische Konsumgüter 8/184